

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Klinische Medizin der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Professor Dr. Jörg Lisson

**Reifestadien der Halswirbelkörper
in Korrelation zum Kieferwachstum
bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden**

**Dissertation zur Erlangung des
Grades eines Doktors der Zahnheilkunde**
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2014

vorgelegt von: Franziska Thieme
geb. am: 05.02.1984

Tag der Promotion:

Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lisson

2. Berichterstatter:

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ZUSAMMENFASSUNG | 1 |
| 1.1 | Deutsche Zusammenfassung | 1 |
| 1.2 | Abstract..... | 2 |
| 2 | EINLEITUNG | 3 |
| 2.1 | Entwicklung und Wachstum..... | 3 |
| 2.1.1 | Definition Entwicklung | 3 |
| 2.1.2 | Definition Wachstum | 3 |
| 2.2 | Strahlung | 4 |
| 2.2.1 | Allgemeines..... | 4 |
| 2.2.2 | Zusammensetzung von Röntgenstrahlung..... | 4 |
| 2.2.3 | Eigenschaften und Wirkung von Röntgenstrahlen | 6 |
| 2.2.4 | Strahlenschutz / Strahlenhygiene..... | 7 |
| 2.3 | Röntgen in der Zahnmedizin..... | 9 |
| 2.4 | Handröntgen..... | 9 |
| 2.5 | Definition der Halswirbelkörperstadien | 11 |
| 2.6 | Ziel der Arbeit | 14 |
| 3 | MATERIAL UND METHODE | 16 |
| 3.1 | Material..... | 16 |
| 3.2 | Methode..... | 17 |
| 3.2.1 | Kephalometrische Methodik..... | 18 |
| 3.2.2 | Kephalometrische Analyse..... | 22 |
| 3.2.3 | Statistische Methode | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3 | Methodischer Fehler | 26 |
| 4 | ERGEBNISSE..... | 27 |
| 4.1 | Kephalometrische Analyse | 27 |
| 4.2 | Statistische Analyse..... | 28 |
| 4.2.1 | Alter..... | 28 |
| 4.2.2 | Unterkieferlängenwachstum..... | 29 |
| 4.2.3 | Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe | 31 |
| 4.2.4 | Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe..... | 32 |
| 4.2.5 | Sagittalentwicklung des Oberkiefers | 33 |
| 4.2.6 | Vertikalentwicklung des Unterkiefers..... | 35 |
| 4.3 | Methodenfehler..... | 38 |
| 5 | DISKUSSION..... | 39 |
| 5.1 | Material..... | 39 |
| 5.2 | Methode..... | 40 |
| 5.2.1 | Kephalometrische Methode..... | 40 |
| 5.3 | Ergebnisse der kephalometrischen Analyse | 41 |
| 5.3.1 | Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und skelettaler Reife..... | 41 |
| 5.3.2 | Basal sagittale und basal vertikale Parameter | 42 |
| 5.4 | Statistische Ergebnisse | 43 |
| 5.4.1 | Altersvergleich zwischen Mädchen und Knaben | 43 |
| 5.4.2 | Unterkieferlängenwachstum..... | 44 |
| 5.4.3 | Vertikalentwicklung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe...45 | |
| 5.4.4 | Sagittalentwicklung Oberkiefer..... | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4.5 | Vertikalentwicklung und Wachstumsmuster | 48 |
| 5.5 | Messfehler | 49 |
| 5.6 | Schlussfolgerungen | 50 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 51 |
| 7 | PUBLIKATION / DANKSAGUNG..... | 57 |
| 7.1 | Publikation | 57 |
| 7.2 | Danksagung..... | 58 |
| 8 | ANHANG | 59 |
| 8.1 | Kephalometrische Analyse - Ergebnisse | 59 |
| 8.1.1 | Alter..... | 59 |
| 8.1.2 | Basal sagittale und basal vertikale Parameter | 60 |
| 8.1.3 | Unterkieferlängenwachstum..... | 64 |
| 8.1.4 | Anteriore Gesichtshöhe..... | 68 |
| 8.1.5 | Posteriore Gesichtshöhe | 69 |
| 8.1.6 | Sagittalentwicklung des Oberkiefers | 70 |
| 8.1.7 | Vertikalentwicklung Unterkiefer | 72 |

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Ein vermindertes Wachstum von Mandibula bzw. Maxilla kann eine Ursache für kieferorthopädisch relevante Krankheitsbilder sein. Durch wachstumsbeeinflussende kieferorthopädische Maßnahmen ist zu erwartendes Wachstum jedoch beeinflussbar. Hieraus ergibt sich der Wunsch, die Reife eines Individuums und somit auch dessen Wachstumspotenzial bestimmen zu können. Zur Beurteilung des Skelettwachstums werden in der Kieferorthopädie mehrheitlich Handröntgenaufnahmen eingesetzt (Pasciuti *et al.*, 2013). Eine erhöhte Strahlenbelastung ist die Folge. Die hier vorliegende Studie untersucht daher die Cervical vertebral maturation Methode (Cvm - Methode) zur Bestimmung der skelettalen Reife in Bezug auf das zu erwartende Wachstum männlicher und weiblicher Heranwachsender. Anhand von Fernröntgenseitenaufnahmen (FRS) werden die Wirbelkörper C₂ - C₄ auf typische Formveränderungen in Korrelation zu Alter und Schädelentwicklung untersucht. Zu diesem Zweck wurden FRS von 54 männlichen und 53 weiblichen Heranwachsenden in kieferorthopädischer Behandlung ausgewertet. Eine gesonderte Röntgendiagnostik war nicht nötig. Für die kephalometrische Analyse wurden verschiedene Winkel- und Streckenmessungen die basal sagittale und vertikale Entwicklung betreffend definiert.

Für Mädchen und Knaben ergaben sich signifikante Unterschiede bezüglich des Alters in welchem ein Halswirbelkörperentwicklungsstadium (Cvm – Stadium) auftrat. Im Mittel waren die Mädchen zwischen 0,6 (Cvm₆) - 1,9 (Cvm₄) Jahre jünger als die Knaben im gleichen Cvm - Stadium. Außerdem konnte gezeigt werden, dass Mädchen sowie Knaben bis zu einem Alter von 18 Jahren nicht ausgewachsen sind.

Weiterhin konnten verschiedene Wachstumsstadien für Unter- und Oberkiefer für Mädchen und Knaben definiert werden. Es zeigten sich z. B. hochsignifikante Längenveränderungen des Unterkiefers bei Knaben im Stadium Cvm₄ sowie Cvm₅. Im Vergleich dazu zeigten sich bei Mädchen höchstsignifikante Veränderungen zum Zeitpunkt Cvm₅. Hochsignifikante Veränderungen traten bei Ihnen zum Zeitpunkt Cvm₃ auf. Für die Vertikalentwicklung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe konnten hochsig-

nifikante Veränderungen in den Stadien Cvm₂ und Cvm₅ festgestellt werden. Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten nicht festgestellt werden. Die Wachstumsstadien, welche in der Literatur beschrieben werden, konnten bestätigt und erweitert werden.

1.2 Abstract

Reduced growth of the mandible or maxilla can be the cause for orthodontic treatment. With functional orthodontic treatment expected growth is influenceable. So orthodontists want to predict the maturation stages and the potential of forthcoming growth. Hand radiographs were usually used to assess skeletal maturity (Pasciuti *et al.*, 2013). In order to reduce the dose the present study was conducted, investigating the Cvm method. Skeletal maturity related to forthcoming growth of male and female adolescents were determined. On the basis of lateral cephalograms the cervical vertebra bodies C₂ - C₄ were evaluated for typical shaping variations in correlation to age and craniofacial development. For this lateral radiographs from 54 male and 53 female adolescents were evaluated. There was no need for a separate x-ray diagnostic. To complete the cephalometric analysis, different angles and distances related to the basal sagittal and vertical development were selected.

Concerning males and females, there are significant differences in terms of the age in which a certain cervical vertebrae maturation stage appears. On average, female subjects were between 0.6 (Cvm₆) - 1.9 (Cvm₄) years younger than the male subjects in the same stage of development. It could also be shown that neither boys or girls are full-grown by the age of 18. Furthermore, different maturation stages for the mandible and the maxilla can be defined for both genders. It was found that mandibular length growth in boys were highly significant in stage Cvm₄ and Cvm₅. In comparison, most significant changes in the female experimental group were found in stage Cvm₅ and high significant changes in the stage Cvm₃. For the vertical development of anterior and posterior facial height high significant changes in the stages Cvm₂ and Cvm₅ without gender-related differences can be detected. The growth stages which are described in the literature, can be confirmed and extended.

2 Einleitung

2.1 Entwicklung und Wachstum

2.1.1 Definition Entwicklung

Entwicklung beschreibt die Entstehung einer Struktur durch Differenzierung von Stammzellen. Es entwickeln sich Zellen und Gewebe, sowie Organe und Organverbände. Nach dem Zusammenschluss verschiedener Zellen zu einem Zellverbund oder Gewebe erfolgt die weitere Veränderung ausschließlich durch Wachstum (Jablonski 1992).

2.1.2 Definition Wachstum

Wachstum ist nach Sperber eine fundamentale Eigenschaft eines sich entwickelnden Organismus. Sobald die Differenzierung eines Gewebes abgeschlossen ist, besteht die weitere Veränderung in Wachstum (Sperber, 1992). Es ist hauptsächlich durch die Volumenzunahme der verschiedenen Gewebe definiert. Das Erscheinungsbild des menschlichen Gesichtes wird durch deren koordiniertes Wachstum maßgeblich geprägt (Enlow, 1982). Wachstumsregionen (z. Bsp. Periost, Suturen, Knorpelgewebe der Schädelbasis) geben den Ort des Wachstums vor. Das Zusammenspiel der Formveränderung einzelner Knochen legt das spätere Aussehen fest und kann die Funktion beeinflussen. Die Veränderung eines Knochens beeinflusst das gesamte Schädelwachstum. Es hat also ebenfalls Einfluss auf die Veränderung des Gesichtes. Remodeling, direktes und indirektes Displacement sind dabei hauptsächlich für die Formveränderung des Viscerocranium verantwortlich (Dibbets und Müller, 2010).

2.2 Strahlung

2.2.1 Allgemeines

Die Entdeckung der Röntgenstrahlung erfolgte 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen. Als Strahlung bezeichnet man einen räumlich gerichteten Transport von Energie oder Materie. Man unterscheidet die Korpuskular- und die Wellenstrahlung. Bei der Korpuskularstrahlung wird Energie durch Masseteilchen transportiert. Diese Masseteilchen können Atome, Ionen oder Kernbestandteile sein. Beispiele sind die Kathodenstrahlung, welche in einer Röntgenröhre entstehen kann sowie die Alpha- und Neutronenstrahlung (Pasler, 1981). Allgemein wird in der Röntgendiagnostik zwischen basis-, befundbezogenen und weiterführenden Untersuchungen unterschieden. Die Basisuntersuchungen dienen der Übersichtsdarstellung einzelner Organe oder Funktionseinheiten. Die befundbezogenen Untersuchungen dienen der Abklärung einer konkreten Fragestellung. Sie resultieren aus der klinischen Untersuchung oder der Basisdiagnostik. Jegliche weiterführende bildgebende Darstellung erfolgt mit allgemeinen bildgebenden Diagnostiken, welche nicht durch Zahnärzte betrieben werden (Rother, 2010).

2.2.2 Zusammensetzung von Röntgenstrahlung

Als Röntgenstrahlung werden elektromagnetische Wellen mit einer Photonenenergie zwischen 100 eV und einigen MeV und einer Wellenlängen zwischen 10^{-9} m und 10^{-11} m bezeichnet. Sie liegt somit im elektromagnetischen Spektrum zwischen dem ultravioletten Licht und der Gammastrahlung. Sie gehört zu den ionisierenden Strahlungen. Röntgenstrahlen können in einer evakuierten Röhre erzeugt werden. Dabei werden Elektronen durch Glühemission aus dem Wolframdraht der Heizspirale herausgelöst. Je stärker die anliegende Heizstromstärke, desto mehr Röntgenstrahlung kann erzeugt werden. Durch den Wehnelt - Zylinder werden die Elektronen im Zentrum vor der Kathode gesammelt. Durch Anlegen einer Spannung werden diese von der Kathode zur Anode bewegt. Je nach Spannungsstärke variieren die Flussgeschwin-

digkeit und damit die kinetische Energie der erzeugten Strahlung. Prallen die beschleunigten Elektronen auf die Anode, kommt es zur Entstehung von elektromagnetischen Wellen. Die entstandene Röntgenstrahlung setzt sich aus der Bremsstrahlung und der charakteristischen Eigenstrahlung zusammen. Die Anziehung der Elektronen durch die positive Kernladung der Anode führt zur Bremsung dieser und zur Energieabgabe. Es entsteht eine kurzwellige, energiereiche Röntgenstrahlung, die Bremsstrahlung. Die charakteristische Eigenstrahlung entsteht durch direkten Kontakt von Elektronen der Kathode mit denen der inneren Schale des Wolframplättchens der Anode. Durch die Energieübertragung wird das getroffene Elektron der Anode auf ein höheres Energieniveau katapultiert. Nach ca. 10^{-8} s fällt das angeregte Elektron wieder auf sein ursprüngliches Energieniveau zurück. Die freiwerdende Energie wird als elektromagnetische Welle freigesetzt. Sie ist wie die Bremsstrahlung kurzwellig. Durch den angelegten Wechselstrom und die unterschiedlichen Bremsvorgänge am Brennfleck ist das Primärstrahlenbündel inhomogen. Es besteht aus lang- und kurzwelligen, energiereichen und -armen elektromagnetischen Wellen. Die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen ist abhängig von ihrer Wellenlänge. Je größer die Spannung, desto ausgeprägter ist die Beschleunigung sowie die kinetische Energie der Elektronen und so geringer ist die Wellenlänge.

Für die röntgenologische Diagnostik sollte der Primärstrahl möglichst homogen, kurzwellig und damit durchdringungsfähig sein. Langwellige Strahlung sorgt beim Röntgen für zusätzliche Streustrahlung, Unschärfe und Schädigung im Gewebe. Um sie zu eliminieren sind verschiedene Systeme in das Röntgengerät integriert. Durch die Eigenfilterung mit einer ca. 2 mm dicken Aluminiumplatte wird die Strahlung aufgehärtet. Die langwelligen, weichen Strahlen werden absorbiert. Zur weiteren Reduktion des Strahlenfeldes und Verbesserung der Bildqualität ist die Blende fest in den Strahlengang integriert. Sie sorgt dafür, dass die Fläche des bestrahlten Hautareals ein bestimmtes Maß nicht übersteigt und schräge Randstrahlen eliminiert werden. Ein Aluminiumraster zwischen dem Objekt und dem Film, kann ebenfalls zur Verbesserung der Bildqualität führen. (Pasler, 1981; Nötzel *et al.*, 2007)

2.2.3 **Eigenschaften und Wirkung von Röntgenstrahlen**

Trotz der Entwicklung bildgebender Verfahren ohne ionisierende Strahlung (Sonographie, Magnetresonanztomographie) steht die konventionelle und digitale Röntgendiagnostik in der Medizin klar im Vordergrund (Rother, 2010). Im Jahr werden in der Europäischen Union rund 23 Millionen Aufnahmen in der Zahnmedizin angeordnet und durchgeführt. Dies entspricht ungefähr einem Drittel aller in der EU angefertigten Röntgenbilder (Metsälä *et al.*, 2013). Umso wichtiger ist es, ihre Eigenschaften und biologische Wirkung zu kennen. Röntgenstrahlen sind unsichtbar, breiten sich als Wellen aus und sind dabei nicht elektromagnetisch ablenkbar. Sie sind photochemisch wirksam und in der Lage Materie zu durchdringen. Die photochemische Wirkung zeigt sich in der Reduktion von Silberbromid zu Silber bei der Belichtung eines Röntgenfilms beim konventionellen Röntgen. Die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen ist von der Dichte des zu durchdringenden Gewebes abhängig. Je dichter ein Gewebe ist, desto stärker ist die Schwächung der Röntgenstrahlen und desto geringer ist die Schwärzung im späteren Röntgenbild. Kommt ein Röntgenphoton in Kontakt mit Materie, so tritt es mit dieser in Wechselwirkung. Es kommt zu Absorption und Streuung. Die Energieabgabe erfolgt dabei durch Wärmeübertragung auf das umgebende Gewebe und durch Ionisation. Folge ist die Bildung geladener Teilchen im Gewebe. Diese freien, energiereichen Teilchen sind für die biologische Wirkung der Röntgenstrahlen verantwortlich. Die Wirkung der Röntgenstrahlen ist in Früh- und Spätfolgen sowie direkte und indirekte Strahlenwirkung einteilbar. Frühreaktionen treten erstmalig bis zu 90 Tage *postradiationem* auf und beruhen auf der Reduktion der Zellzahl (Dörr, 2010; White & Mallya, 2012). Sie sind in der Regel reversibel. Ihre Latenz ist unabhängig von der Dosis. Die Spätreaktionen (stochastische Strahlenschäden) sind Folge von DNA - Beschädigungen (Okano & Sur, 2010; White & Mallya, 2012). Sie können nach einer symptomfreien Latenzzeit von Monaten bis Jahren *postradiationem* auftreten. Die Reaktionen sind progressiv und irreversibel. Die Latenzzeit hängt invers von der Dosis ab (Dörr, 2010). Zu den akuten Schäden (deterministische oder Frühschäden) gehören das Erythem, die Epilation, die Infertilität sowie die Anämie. Meist ist das Erreichen eines Schwellenwertes von ca. 500 mSv für die Auslösung der Reaktion erforderlich (Bundesamt für Strahlenschutz, 2014). Auch bei Unterschreiten der Schwellendosis kann ein späterer

stochastischer Schaden nicht ausgeschlossen werden. Wird die Schwellendosis einmal überschritten, nimmt die Schwere des Schadens mit der Dosis zu. Der Schadeneintritt erfolgt zudem früher. Konventionelle dentale Röntgenaufnahmen können solche Schäden aber nicht hervorrufen (White & Mallya, 2012). Zu den stochastischen Schäden gehören Leukämien und Tumore. Auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Augenkatarakte scheinen mögliche Folgen zu sein (White & Mallya, 2012; Bundesamt für Strahlenschutz, 2014). Genetische Veränderungen wie DNA - Doppelstrangbrüche können durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden. Dabei ist ein Röntgenphoton allein in der Lage diese hervorzurufen (Morgan & Sowa, 2009). Sie können zum Zelltod führen und Chromosomenaberrationen auslösen. Die Entstehung von Krebs kann die Folge sein (Jackson, 2002). Folgen der Bestrahlung können weiterhin Tumore der Speicheldrüsen sowie Meningeome sein (Preston *et al.*, 1990). Ab einer Strahlungsdosis von ≥ 200 mSv bei Erwachsenen und ≥ 100 mSv bei Kindern konnte ein gehäuftes Auftreten von Schilddrüsentumoren beobachtet werden. Grund hierfür ist eine extrem hohe Zellteilungsrate, welche erst nach dem 20igsten Lebensjahr wieder abnimmt (Tubiana, 2000). Dass eine lineare Beziehung zwischen erhöhtem Krebsrisiko und einer effektiven Organdosis von 50 mSv bis 2,5 Sv besteht, konnte Hall 2009 anhand von Daten aus Atombombenstudien aufzeigen. Das gehäufte Auftreten von Krebs nach Bestrahlung wird für chronische (bei beruflicher Exposition) sowie akute Bestrahlung (z.B. Radiotherapie oder Strahlenunfälle) beschrieben (Tubiana, 2000).

Die bei der Anfertigung von FRS auftretende Röntgenstrahlung ist außerdem in der Lage, Veränderungen des Zellkerns in Bezug auf die Zytotoxizität vorzunehmen. Kernfragmentierungen, Kernlyse sowie die Kernverkleinerung mit Chromatinverdichtung können vermehrt beobachtet werden. Direkte Chromosomenschäden werden allerdings nicht hervorgerufen (Ribeiro *et al.*, 2011).

2.2.4 Strahlenschutz / Strahlenhygiene

Strahlenunfälle wie die Kernschmelze der Reaktoren in Fukushima 2011 oder Tschernobyl 1986 sowie die biologische Wirkung von Strahlen schüren in vielen Menschen die Angst vor Strahlung. Eine konsequent durchgeführte Strahlenhygiene, die

Regulation der Dosis beim zahnärztlichen Röntgen durch effektive Patientenauswahl und richtige Verwaltung der Röntgenanlage sind nötig (Okano & Sur, 2010). Röntgenbilder sollten zudem ausschließlich mit patientenspezifischer Indikation angefertigt werden (Richtlinie 96/29/Euratom, 1996; White & Mallya, 2012). Die Strahlendosis sollte so gering wie möglich gehalten werden (Pasler, 1981; Richtlinie 96/29/EURATOM, 1996; Wakoh & Kuroyanagi, 2001; Martin *et al.*, 2009; Rother, 2010). Studien zeigen, dass 42% der angefertigten Panoramaschichtaufnahmen ohne vorherige klinische Untersuchung und Indikationsstellung als Routineaufnahmen angefertigt werden. Eine Reduktion der kollektiven Strahlungsdosis um 30% ist allein durch Verzicht auf diese erreichbar (Okano & Sur, 2010). Strahlungssensitive und besonders exponierte Strukturen bei der Anfertigung von dentalen Röntgenaufnahmen sind Speichel- und Schilddrüse, Gehirn und Knochenmark. Aufgrund der Strahlenempfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen sollten diese bei Röntgenaufnahmen des Kopfbereiches bis zu einem Alter von 20 Jahren immer einen Schilddrüsenkragen tragen (White & Mallya, 2012). Der Schutz der nicht untersuchungsrelevanten Körperregionen sollte bei jeder Aufnahme im Vordergrund stehen. Daher ist bei Untersuchungen von Patienten im zeugungsfähigen Alter die Abschirmung der Keimdrüsen mit Hilfe einer Strahlenschutzschürze obligat. Diese sollten dazu immer in der richtigen Größe verwendet werden und einen Bleichgleichwert von 0,25 – 0,50 mm nicht unterschreiten. Eine weitere Reduktion der Strahlungsdosis ist durch die Verwendung von Blenden, Filtern und Verstärkerfolien zu erreichen. Durch sie können Sekundär- bzw. Streustrahlung in benachbarte Strukturen reduziert werden. Weiterhin vorteilhaft ist die Verwendung digitaler Röntgengeräte. Digital angefertigte Panoramaschichtaufnahmen und intraorale Aufnahmen erfordern geringere Strahlungsdosen als analog angefertigte (Wakoh & Kuroyanagi, 2001; Alcaraz *et al.*, 2009; Anissi & Geibel, 2014). Pro konventionell angefertigtem FRS ist der Patient einer Strahlungsdosis von 2,3 μSv ausgesetzt. Bei digital angefertigten FRS beträgt die effektive Strahlendosis 1,1 μSv . Somit ist eine Reduktion der Dosis um den Faktor 2 bei der Verwendung digitaler Aufnahmeverfahren zu verzeichnen (Visser *et al.*, 2001).

2.3 Röntgen in der Zahnmedizin

In der Zahnmedizin werden Röntgenbilder in der Diagnostik oder zur Kontrolle der eigenen Arbeit angewendet. Kariesdiagnostik mit Hilfe einer Bissflügelaufnahme oder einem Zahnfilm gehören zur täglichen Routine. Zur regulären Basisdiagnostik gehört auch das Orthopantomogramm (OPT). Es dient der Kontrolle der Zahnanlagen gibt erste Hinweise auf pathologische apikale Veränderungen oder Lagebeziehungen der Zähne zueinander. Auch die Diagnostik von Kieferfrakturen, Fremdkörpern, Speicheldrüsensteinen kann mit Hilfe von Röntgenaufnahmen erfolgen. Zusätzlich können die Nasennebenhöhlen und Kiefergelenke oder das Knochenangebot vor einer Implantatversorgung beurteilt werden.

In der Kieferorthopädie zählen besonders zwei Aufnahmen zur Standarddiagnostik. Das OPT gibt Hinweise auf die Stellung der Zähne zueinander, die Wurzelkonfiguration, die Zahnanzahl oder den Zustand des Kieferknochens und der Parodontien. Die Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) dient der Beurteilung der sagittalen wie vertikalen Schädelkonfiguration, der Frontzahnposition sowie der Abklärung der Wachstumsphasen. Weitere Aufnahmen wie Zahnfilme oder Aufbissaufnahmen werden bei entsprechender Indikation angefertigt.

2.4 Handröntgen

Bereits kurz nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung erwachte das Interesse, mit ihrer Hilfe die Reifung des Skelettsystems zu studieren (Thiemann und Nietz, 1991). Mit ihrer Hilfe sollte die skelettale Reife von Kindern und Jugendlichen beurteilt werden. Erste systematische Studien veröffentlichte Behrendsen 1897 (Thiemann und Nietz, 1991). Die Handröntgenaufnahme ist ein spezielles diagnostisches Hilfsmittel und gilt hierzu als Standard. Sie findet seit Jahren Anwendung in der Pädiatrie zur Bestimmung der skelettalen Reife (Schopf, 1984). Ihr liegt der Zusammenhang zwischen definierten Wachstumsstadien an Epi- und Diaphysen der Finger und der Zunahme der Körpergröße zugrunde. Der Pädiatrie dient zur Beurteilung der skelettalen

Reife vor allem die durch Greulich und Pyle (1959) vorgestellte Methode. Die angefertigten Aufnahmen der Hand werden hier mit 35 Tafeln der normal entwickelten Hand zu verschiedenen Zeitpunkten verglichen. Anschließend wird die skelettale Reife bestimmt. Die klassische Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife in der Kieferorthopädie beruht auf einer Arbeit von Björk und Mitarbeitern aus dem Jahr 1967. In einer Langzeituntersuchung wurden die Beziehungen zwischen den Reifestadien der Hand im Verhältnis zum puberalen Wachstumsmaximum an 52 dänischen Jungen bestimmt. Aus den Untersuchungen ergaben sich acht verschiedenen Reifestadien in Abhängigkeit von Verschmelzungszeitpunkten der Epiphysenfugen an vier Röhrenknochen der Hand und dem Auftreten des Sesamoids am Daumen (Abb. 1 / Tab. 1) (Kahl-Nieke 2009). Aufgrund dieser Untersuchung ist die Beurteilung des noch zu erwartenden Wachstums möglich. Liegt zum Beispiel das Stadium PP₂ vor, zeigt dies das Ende des infantilen Wachstums an. Das Wachstumsmaximum hingegen ist durch das Stadium MP_{3cap} gekennzeichnet. Die Epiphyse der Phalanx des Mittelfingers umfasst hier die Diaphyse in Form einer Kappe. Im Anschluss an dieses Entwicklungsstadium verschmelzen Epi- und Diaphysen der verschiedenen Handknochen. Das Ausmaß des zu erwartende Wachstums wird immer geringer, bis im Stadium Ru kein Wachstum mehr zu erwarten ist.

| Stadium | Erklärung |
|--------------------------|---|
| PP₂ | Ende des infantilen Wachstums; Epi- u. Diaphyse haben die gleiche Breite |
| MP₃ | Juveniles Individuum; noch 2 – 3 Jahre bis zum Wachstumsspurt |
| S | Beginn Pubertät; Auftreten des Sesamoids am Daumen; entspricht dem optimalen Behandlungszeitpunkt |
| MP_{3cap} | Kappenstadium der mittleren Phalanx des Mittelfingers; entspricht dem puberalen Wachstumsgipfel |
| DP_{3u} | Die Epiphyse der distalen Phalanx ist mit dem Schaft verschmolzen; Wachstumsspurt 1 - 1,5 Jahre vorher abgelaufen; Bei Mädchen Auftreten der Menarche |
| PP_{3u} | Die Epiphyse der proximalen Phalanx ist mit dem Schaft verschmolzen, kaum Wachstum zu erwarten |
| MP_{3u} | Die mediale Phalanx des Mittelfingers mit dem Schaft verwachsen; Ende der Pubertät, kaum Wachstum zu erwarten |
| Ru | Die Epiphyse des Radius ist mit dem Schaft verschmolzen; kein Wachstum mehr zu erwarten |

Tab. 1: Erläuterung der Reifestadien der Hand

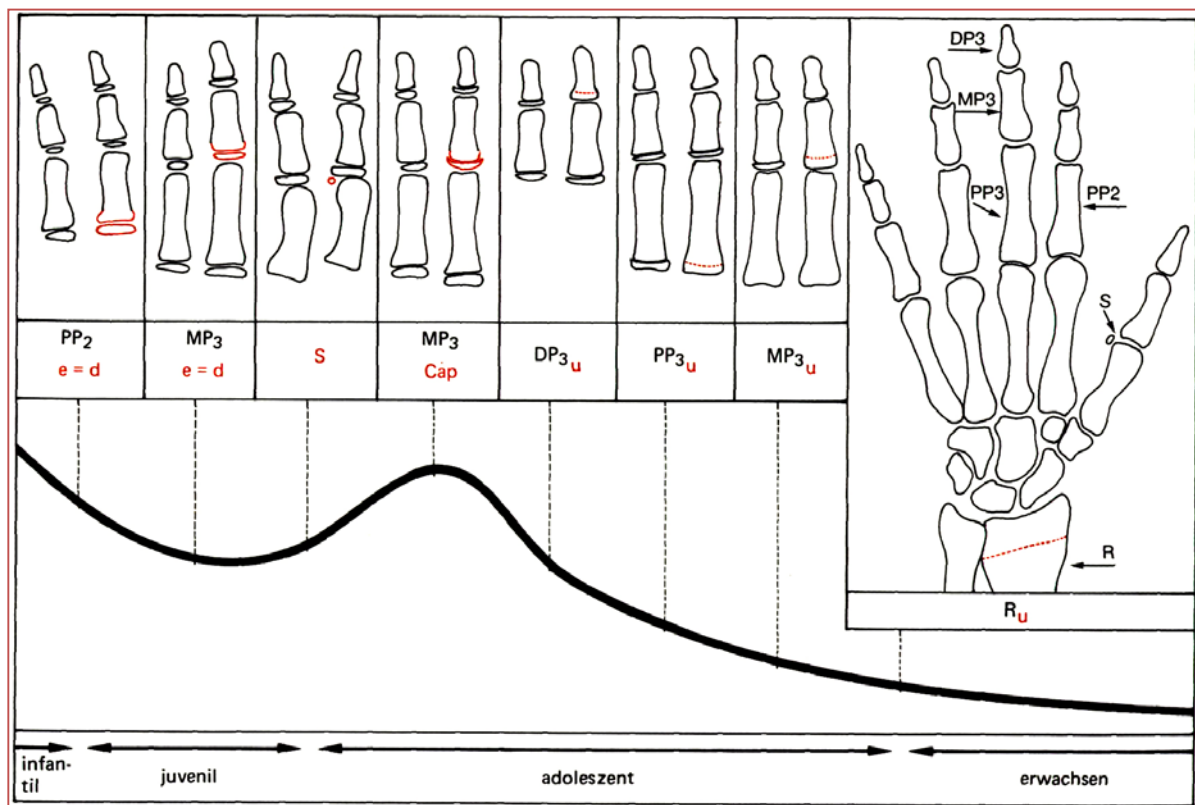


Abb. 1: Wachstumskurve nach Björk in Korrelation zu den Reifestadien der Hand, [aus B. Kahl-Nieke, Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 11/I, 4. Aufl.] + Vorlesung Chef ©

Die Handröntgenanalyse hat sich als geeignet zur Bestimmung der skelettalen Reife bewährt (Björk & Helm, 1967; Pancherz & Szyska, 2000). Sie bietet die Möglichkeit, Kenntnisse über den Entwicklungsstand jugendlicher Patienten sowie die Planung und Koordination der Behandlung zu nutzen (rezitiert nach Hirschfelder *et al.*, 1995). Die Handröntgenaufnahme gehört jedoch nicht zum kieferorthopädischen Standard-procedere. Sie wird bei entsprechender Indikation, wie der Notwendigkeit einer wachstumsbeeinflussenden Therapie, bei Unterkieferrücklage oder vor Dysgnathiechirurgie angefertigt.

2.5 Definition der Halswirbelkörperstadien

Im Laufe der Entwicklung verändern sich Form und Größe der Wirbelkörper in charakteristischer Art und Weise. Diese Veränderungen sowie die Beurteilung des Vorhandenseins einer Konkavität am Unterrand der Wirbelkörper im 2D-Bild ermöglichen die

Zuteilung der Wirbel zu einem Entwicklungsstadium (Cvm – Stadium / Cervical vertebral Maturation – Stadium). Zu Beginn der Entwicklung sind alle Wirbelkörper flach und horizontal rechteckig. Die posteriore Wirbelkörperhöhe ist größer als die anteriore. Mit zunehmender Reife werden die Wirbelkörper quadratisch und sind schließlich vertikal rechteckig. Weiterhin bildet sich an der inferioren Kontur der Wirbelkörper eine Konkavität. Am Ende der Reifung sind sie höher als breiter und weisen an ihrer inferioren Kontur eine ausgeprägte Konkavität $C_x\text{conc} \geq 1\text{ mm}$ auf. Um die Wirbelkörper reproduzierbar einem Cvm - Stadium zuteilen zu können, wurden folgende Stadien nach Hassel und Farman (Hassel & Farman, 1995) definiert und zur genaueren Beurteilung der Konkavitäten mit der Analyse von san Román (san Román *et al.*, 2002) kombiniert. Um eine „beginnende Konkavität“ einheitlich beschreiben zu können, wurde willkürlich ein Grenzwert von 0,7 mm festgelegt. Eine Krümmung der inferioren Kontur von $\geq 0,7\text{ mm}$ bis 0,9 mm zeigt eine beginnende Konkavität an. Eine Konkavität besteht ab einer Krümmung von einem Millimeter (san Román *et al.*, 2002).



Abb. 2

Cvm₁: Die inferioren Konturen aller Wirbelkörper C₂ - C₄ sind flach. Es liegt keine Konkavität vor ($C_x\text{conc} \leq 0,6\text{ mm}$). Die Höhe der Wirbelkörper nimmt von posterior nach anterior ab.

1

¹ C_x entspricht der Ordnungszahl der Halswirbelkörper C₂ – C₄; x steht dabei für die numerische Bezeichnung der Wirbelkörper, C_xconc dient der Beurteilung der Ausprägung einer Konkavität



Abb. 3

Cvm₂: An der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C₂ beginnt sich eine Konkavität zu entwickeln ($C_{2conc} \geq 0,7$ mm). Die anteriore und posteriore Wirbelkörperhöhe gleichen sich an. Die Wirbelkörper C₃ und C₄ weisen weiterhin keine Konkavität auf.



Abb. 4

Cvm₃: An der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C₃ entwickelt sich eine Konkavität ($C_{3conc} \geq 0,7$ mm). Der Wirbelkörper C₄ weist noch immer keine Konkavität auf.



Abb. 5

Cvm₄: An der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C₄ entwickelt sich eine Konkavität ($C_{4conc} \geq 0,7$ mm). Die Wirbel C₂, C₃, C₄ sind horizontal rechteckig (anteriore und posteriore Wirbelkörperhöhe sind gleich; die Länge des Wirbels ist größer als seine Höhe)



Abb. 6

Cvm₅ Die Konkavitäten an den inferioren Konturen der Wirbel sind deutlich ausgeprägt ($C_{xconc} \geq 1$ mm). Die Wirbelkörper weisen eine annähernd quadratische Form auf.



Abb. 7

Cvm₆: Die Konkavitäten der inferioren Konturen der Wirbelkörper C₂ - C₄ haben sich noch weiter verstärkt. Die anteriore und posteriore Höhe der Wirbelkörper ist nun größer als deren Länge. Sie sind vertikal rechteckig.

2.6 Ziel der Arbeit

Das Ausnutzen des Wachstums von Ober- und Unterkiefer ist für den Behandlungserfolg wachstumsbeeinflussender kieferorthopädischer Therapien entscheidend. Die Beurteilung der skelettalen Reife und die Bestimmung des richtigen Therapiezeitpunktes sind zu diesem Zweck notwendig. Bisher musste hierzu eine zusätzliche Röntgenaufnahme der Hand angefertigt werden. Zusätzliche radiologische Untersuchungen der Hand sollten jedoch aus strahlenhygienischer Sicht vermieden werden, um die Strahlenbelastung für die Heranwachsenden so gering wie möglich zu halten.

Ziel der Untersuchung ist es, die Existenz von Korrelationen zwischen Alter, sagittalem und vertikalem Kieferwachstum sowie den Reifestadien der Halswirbelkörper (HWK) bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden nachzuweisen. Es wird geprüft, ob der Informationsgewinn bei der Bewertung der Halswirbel am FRS geeignet ist die Handröntgenaufnahme für diese Indikation obsolet werden zu lassen. Ferner sollen geschlechtsspezifische Unterschiede in der Entwicklung zwischen Knaben und Mädchen herausgearbeitet werden. In bisherigen Arbeiten zu diesem Thema wurden entweder Mädchen oder Knaben immer in Bezug auf die Ermittlung eines Wachstumsmaximums des Unterkiefers untersucht. Nur wenige Arbeiten strebten bisher einen Vergleich von weiblichen und männlichen Heranwachsenden an. Ein weiteres Ziel war ein bisher nicht erbrachter Vergleich der Ergebnisse zwischen Mädchen und Knaben in Bezug auf das Alter sowie die sagittale und vertikale Kieferrelation in Korrelation zu den Entwicklungsstadien der Halswirbelkörper. Um dem Strahlenschutz gerecht zu werden, wurden ausschließlich bereits bestehende Fernröntgenseitbilder ausgewertet. Die rechtfertigende Indikation für die Anfertigung der Röntgenbilder entsprach dem Krankheitsbild der Patienten. Alle Bilder dienten einer Diagnostik im Rahmen einer

Anfangs-, Zwischen- oder Abschlussuntersuchung während einer Behandlung mit kieferorthopädischer Indikation nach Kassenrichtlinien oder auf Wunsch der Patienten.

Die Studie wurde der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes zur Beurteilung vorgelegt. Es bestehen weder berufsrechtliche noch ethische Bedenken gegen die Durchführung der Untersuchung (Nr. 129/14).

3 Material und Methode

3.1 Material

Zur Auswertung kamen laterale Fernröntgenseitaufnahmen (FRS) von männlichen (n = 54) und weiblichen (n = 53) Patienten aus der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes. Alle Patienten wurden ihrem Krankheitsbild entsprechend therapiert. Zusätzlich mussten die Patienten dieser Studie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Alter zwischen 8,0 und 18,0 Jahren
- Vollständige diagnostische Unterlagen mit Fernröntgenseitaufnahmen zu mindestens drei verschiedenen Zeitpunkten (T1 Behandlungsbeginn; T2 im Behandlungsverlauf; T3 Behandlungsende)
- Keine angeborenen Syndrome oder Entwicklungsstörungen (z.B. Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, Trisomie 21 usw.)
- Keine Patienten mit kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie
- Sichtbarkeit der Halswirbelkörper C₂ - C₄ auf allen Fernröntgenseitenaufnahmen

Die Patienten wurden ihrem Alter entsprechend in folgende Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1 = 8,0 - 9,0 Jahre
- Gruppe 2 = 9,1 - 10,0 Jahre
- Gruppe 3 = 10,1 - 11,0 Jahre
- Gruppe 4 = 11,1 - 12,0 Jahre
- Gruppe 5 = 12,1 - 13,0 Jahre
- Gruppe 6 = 13,1 - 14,0 Jahre
- Gruppe 7 = 14,1 - 15,0 Jahre
- Gruppe 8 = 15,1 - 16,0 Jahre
- Gruppe 9 = 16,1 - 17,0 Jahre
- Gruppe 10 = 17,1 - 18,0 Jahre

Bei der Auswahl der Patienten wurde darauf geachtet, dass alle Gruppen mit ca. 20 Patienten (+/- 4) gleich stark waren. Insgesamt konnten so 214 FRS von weiblichen und 192 FRS von männlichen Patienten ausgewertet werden.

Die Auswertung erfolgte anonymisiert, indem jedes FRS eine Fallnummer zugeteilt bekam. So war bei der späteren Auswertung das Alter des Patienten nicht mehr ersichtlich, konnte nach der Auswertung aber wieder zugeordnet werden. Es wurden keine Röntgenbilder extra für die Studie angefertigt.

3.2 Methode

Für die Anfertigung der Röntgenbilder wurde ein digitales Röntgengerät der Firma Sirona (Orthopos XG plus / ceph®, Sirona Dental GmbH, Salzburg, Österreich) und die dazugehörige Bearbeitungssoftware (Sidexis XG, Sirona Dental GmbH, Salzburg, Österreich) verwendet. Der Film – Fokus - Abstand betrug 1,5 m. Es wurde darauf geachtet, dass der Patient während der Aufnahme regelrecht positioniert war und in habitueller Okklusion geröntgt wurde. Je nach Schädelgröße wurde bei einer Stromstärke von 10 mA eine Spannung zwischen 77 - 89 kV gewählt.

Anschließend wurden die angefertigten Bilder in das Auswertungsprogramm Onyx ceph® 3TM (Image Instruments® GmbH, Chemnitz, Deutschland) übertragen und ausgewertet. Hierbei kam das Analyseverfahren „Homburger-HWS“ zur Anwendung. Für die Auswertung wurden durch Baccetti et al. (2002) und san Román et al. (2002) definierte Punkte durch den Untersucher ausgewählt und mit eigenen Punkten zum Analyseverfahren Homburger-HWS kombiniert. Die Analyse wurde anschließend von Onyx Ceph® 3TM für die vorliegende Untersuchung programmiert.

Die digitale Auswertung der Halswirbelkörper im FRS mit Hilfe des Diagnostikprogramms Onyx Ceph® 3TM war somit möglich. Mit Hilfe einer Kalibrierung wurde der Vergrößerungsfaktor der Röntgenbilder vor der Auswertung festgestellt und kompensiert. Die Messpunkte wurden am Bildschirm festgelegt. Die verschiedenen Winkel und Strecken wurden anschließend durch das Auswertungsprogramm automatisch berechnet. Nach dem Festlegen der Messpunkte wurde allen FRS anhand der Wirbelkörper ein Halswirbelkörperstadium (Cvm - Stadium) zugeteilt. Sämtliche statische Auswertungen erfolgten in Bezug auf die sechs Halswirbelkörperstadien.

3.2.1 **Kephalometrische Methodik**

- **Messpunkte**

Bei der Auswertung von Fernröntgenseitaufnahmen wird zwischen anatomischen Messpunkten, welche auf tatsächlichen Knochenstrukturen beruhen und konstruierten Punkten unterschieden. Sie entstehen durch geometrische Konstruktion ausgehend von anatomischen Messpunkten.

Schädelbasispunkte

| | | |
|-----|---------|--|
| N | Nasion | anteriorster Punkt der Sutura nasofrontalis |
| Eth | Ethmoid | Schnittpunkt der Kontur der Sphenoidalebene mit der Ala major ossis sphenoidalis |
| S | Sella | Zentrum der Sella turcica |
| Ba | Basion | posteriorster und kaudalster Punkt des Clivus |

Oberkieferpunkte

| | | |
|-----|---------------------|---|
| A | A-Punkt | dorsalster Punkt der ventralen Kontur des Oberkieferalveolarfortsatzes |
| Spa | Spina nasalis ant. | anteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior |
| Spp | Spina nasalis post. | Schnittpunkt zwischen der vorderen Wand der Fossa pterygopalatina und dem Nasenboden (posteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis posterior) |

Unterkieferpunkte

| | | |
|----|----------|---|
| B | B-Punkt | dorsalster Punkt der ventralen Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes |
| Me | Menton | kaudalster Punkt der Unterkiefersymphyse |
| Gn | Gnathion | am weitesten anterior und kaudal gelegener Punkt des knöchernen Kinns |
| Go | Gonion | Schnittpunkt der Ramuslinie mit der Mandibular - Linie |

| | | |
|------|------------|---|
| Ar | Artikulare | Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae |
| Cond | Condylon | kranialster Punkt des Condylus artikuläre |

Halswirbelpunkte

Zur Definition der Messpunkte der Halswirbelkörper wurden die von Baccetti *et al.* (2002) festgelegten Punkte aufgegriffen und um einen Punkt (C_{xms})² zur Bestimmung der mittleren Wirbelkörperhöhe erweitert.

| | |
|-----------|--|
| C_{xai} | anterior tiefster Punkt der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |
| C_{xmi} | Mittelpunkt der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |
| C_{xpi} | posterior tiefster Punkt der inferioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |
| C_{xps} | posteriorster Punkt der superioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |
| C_{xas} | anteriorster Punkt der superioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |
| C_{xms} | Mittelpunkt der superioren Kontur des Wirbelkörpers C_x |

² C_x entspricht der Ordnungszahl der Halswirbelkörper $C_2 - C_4$; x steht dabei für die numerische Bezeichnung des Wirbelkörpers

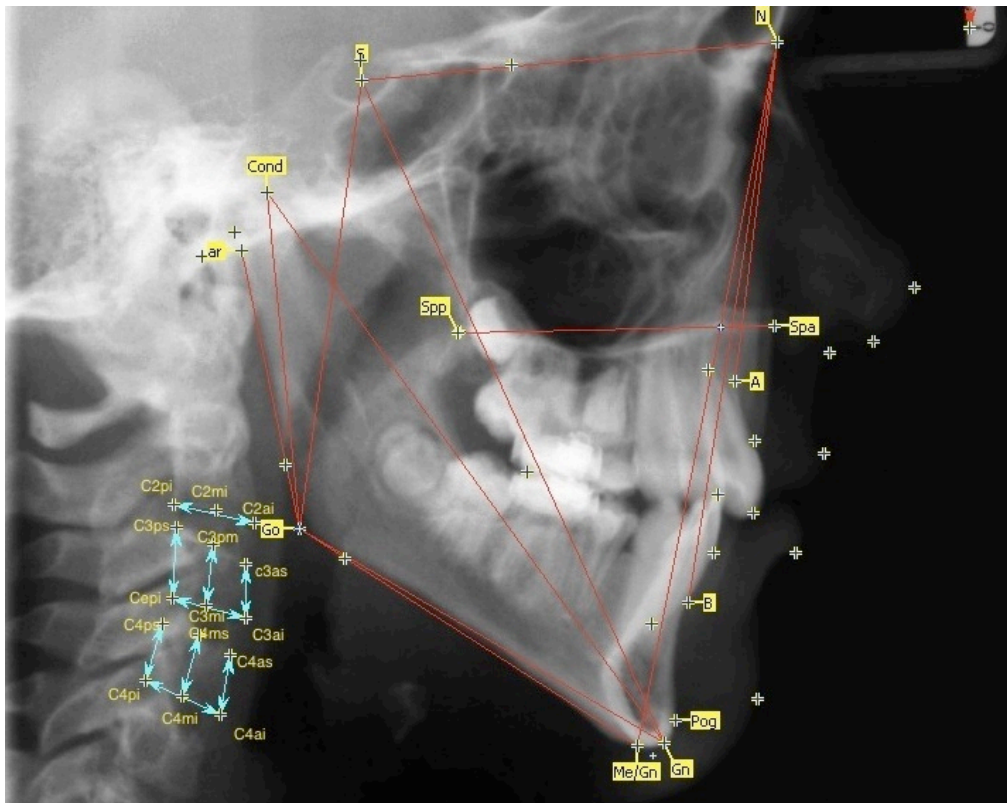


Abb.8 Fernröntgenseitenaufnahme mit Abbildung der kephalometrischen Messpunkte

- **Linien zur Schädelvermessung**

Schädelbasislinien

NSL Nasion-Sella-Linie

Verbindungsline zwischen Nasion und Sella.
Referenzlinie zur Bestimmung der Neigung
der anterioren Schädelbasis

Oberkieferlinien

NL Nasallinie

Verbindung der Punkte Spp und Spa; Referenzlinie
der Oberkieferbasis

NA Linie Nasion-A-Punkt

Verbindungsline zwischen Nasion und A- Punkt
Referenzlinie zur Bestimmung der sagittalen
Position des Oberkiefers

Unterkieferlinien

| | | |
|----|-----------------------|--|
| ML | Mandibularlinie | horizontale Referenzlinie ausgehend von Punkt Me an die am weitesten kaudal gelegene Kontur des Korpus des Unterkiefers im Bereich des Kieferwinkels; Referenzlinie der Unterkieferbasis |
| RL | Ramuslinie | ausgehend vom Punkt Artikulare als Tangente an die am weitesten dorsal gelegene Kontur des aufsteigenden Astes des Unterkiefers im Bereich des Kieferwinkels |
| NB | Linie Nasion- B-Punkt | Referenzlinie zur Bestimmung der sagittalen Position des Unterkiefers |

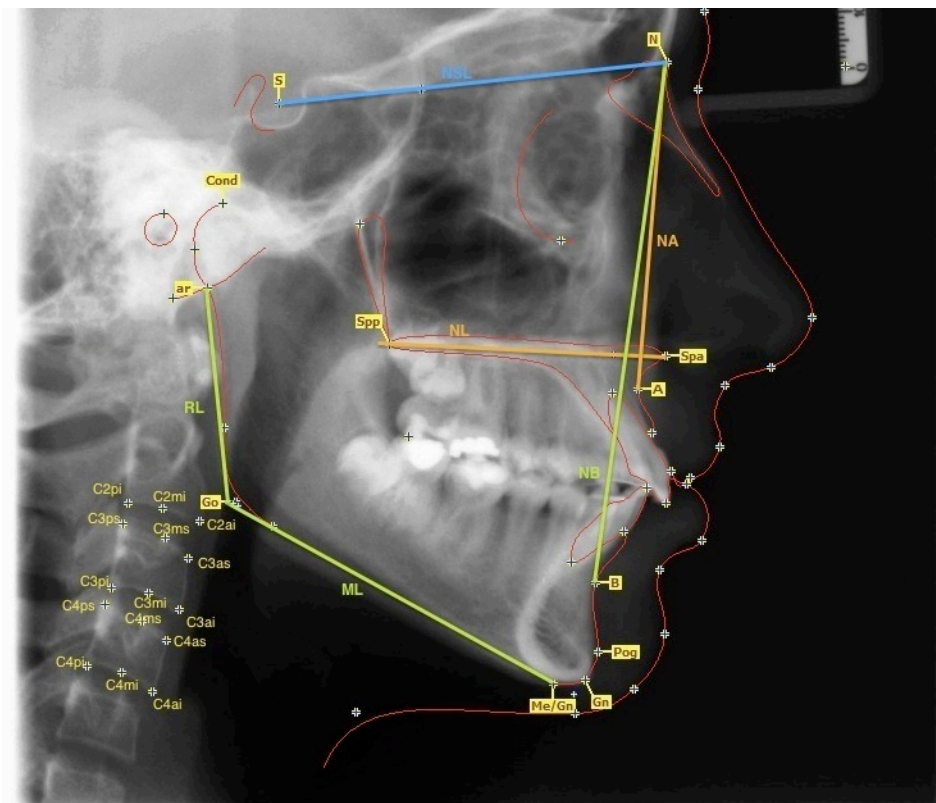


Abb.9 Darstellung der verschiedenen Linien (orange= OK-Linien; grün = UK-Linien)

3.2.2 Kephalometrische Analyse

Für die Auswertung der Fernröntgenseitenaufnahmen wurden folgende Winkel und Strecken zur Beurteilung der Halswirbelkörper sowie der sagittalen und vertikalen Kieferentwicklung ausgemessen.

3.2.2.1 Winkel

| | | |
|--------|------------------|--|
| SNA | SNA-Winkel (°) | Winkel zwischen NSL und NA zur Beurteilung der sagittalen Position der Maxilla in Relation zur Schädelbasis |
| SNB | SNB-Winkel (°) | Winkel zwischen NSL und NB zur Beurteilung der sagittalen Position der Mandibula in Relation zur Schädelbasis |
| ANB | ANB-Winkel (°) | Winkel zwischen NA und NB zur Beurteilung der Lage von Maxilla und Mandibula zueinander |
| ArGoMe | Kieferwinkel (°) | Beschreibt die Relation des Ramus zum Corpus mandibulae. Er ist ein Faktor für die Prognose des Wachstumsmusters |

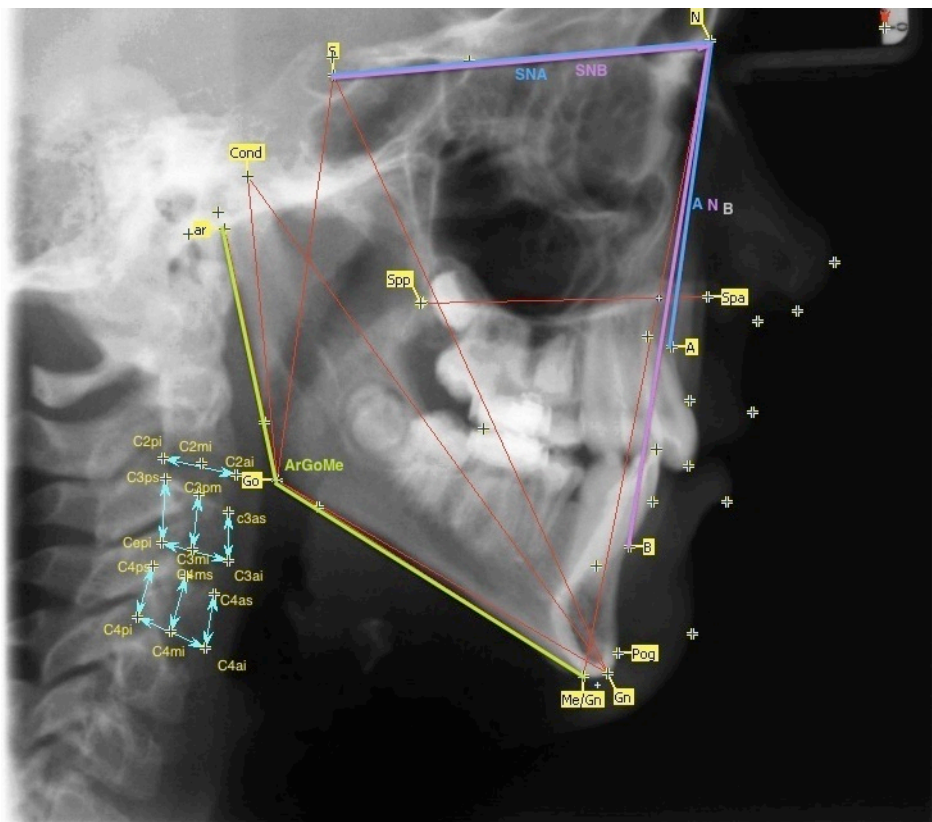


Abb.10 Abbildung der ausgemessenen Winkel

3.2.2.2 Strecken

a. zur Beurteilung des Unterkieferlängenwachstums

| | | |
|-----------|---------------------|--|
| Cond - Gn | Condylon - Gnathion | Strecke zur Beurteilung des Längenwachstums des Unterkiefers |
| Go - Gn | Gonion – Gnathion | Strecke zur Beurteilung des Längenwachstums des Unterkiefers |
| Go - Me | Gonion - Menton | Strecke zur Beurteilung der Längenzunahme des Unterkiefers |
| S - Gn | Sella - Gnathion | Beurteilung des Längenwachstums des Unterkiefers in Bezug zur Schädelbasis |

b. zur Beurteilung der Vertikalentwicklung der vorderen Gesichtshöhe

| | | |
|----------|---------------------------------|--|
| N - Me | Nasion - Menton | Beurteilung der Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe |
| Spa - Me | Spina nasalis anterior - Menton | Beurteilung der Vertikalentwicklung des unteren Gesichtsdrittels und der anterioren Gesichtshöhe |

c. zur Beurteilung der Vertikalentwicklung der hinteren Gesichtshöhe

| | | |
|-----------|-------------------|---|
| S - Go | Sella - Gonion | Beurteilung der Zunahme der posterioren Gesichtshöhe |
| Cond - Go | Condylon - Gonion | Beurteilung der Vertikalentwicklung des Unterkiefers und der posterioren Gesichtshöhe |

d. zur Beurteilung der Sagittalentwicklung des Oberkiefers

| | | |
|-----------|--|---|
| Spa - Spp | Spina nasalis anterior - Spina nasalis posterior | Beurteilung des Längenwachstums der Maxilla |
|-----------|--|---|

Anhand der ermittelten Halswirbelkörperparameter konnte jedem Patienten ein bestimmtes Halswirbelkörperentwicklungsstadium zugewiesen werden. Nach der Zuweisung der Entwicklungsstadien wurden alle Patienten mit einem gemeinsamen Cvm - Stadium zu einer Gruppe zusammengefasst (Cvm₁ - Cvm₆). Die gesamte statistische Auswertung erfolgte jeweils in Bezug auf diese Gruppe.

3.2.3 Statistische Methode

Für die statistische Auswertung und die Erfassung sämtlicher Variablen kam ein Personalcomputer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows 7 (Microsoft Corporation Redmond, USA), sowie ein Personalcomputer mit dem Betriebssystem Mac OS X Version 10.7.5 (Apple Inc., Cupertino, USA) zur Anwendung. Die Tabellenkalkulation erfolgte mit Microsoft Excel®. Die so erhobenen Daten wurden anschließend in das Statistikprogramm SPSS® 21 für Apple (SPSS Inc., Chicago, USA) übertragen und ausgewertet.

Deskriptive Statistik

Für jeden Parameter wurden der Mittelwert (MW), der höchste (max) und der tiefste (min) Wert sowie die Standardabweichung (SD) bestimmt. Um einen Überblick über die Altersunterschiede zwischen den Geschlechtern darzustellen, wurde für jedes Cvm – Stadium der Maximal-, der Minimal- und der Mittelwert sowie die Standardabweichung (SD) des Alters ermittelt.

Vergleichende Statistik

Die Veränderung der verschiedenen Parameter zwischen den Stadien Cvm₁ - Cvm₆ wurde mit Hilfe eines linear gemischten Modells analysiert. Hierbei handelt es sich um ein varianzanalytisches Modell, welches die Daten korrelierte und nichtkonstante Variabilität zulässt. Es gibt daher die Flexibilität, nicht nur die Mittelwerte der Daten, sondern auch ihre Varianzen und Kovarianzen zu analysieren. Es ist möglich Modelle mit festen und zufälligen Effekten, verschiedenen Messwiederholungen, Kovariaten sowie verschachtelten Datenstrukturen zu erstellen. Da unvollständige Messwiederholungen

bei dieser Art von Untersuchung möglich sind, darf die Anzahl der Beobachtungen für die einzelnen Subjekte variieren (Bühl, 2012). In dieser Untersuchung wurde der zu untersuchende Parameter als Konstante in Abhängigkeit zum Cvm - Stadium gewählt. Durch die Schätzung fester Parameter wurde geprüft, ob signifikante Veränderungen der einzelnen Winkel und Strecken während der Entwicklung von einem zum nächsten Cvm - Stadium stattgefunden haben. Außerdem wurde der Mittelwert der betreffenden Konstante, sowie deren Veränderung in Millimetern (mm) bzw. Grad (°) angegeben. Anschließend wurden altersbetreffende Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden im gleichen Cvm - Entwicklungsstadium mit einem t-Test für unabhängige Stichproben auf Signifikanz untersucht.

Folgende Signifikanzniveaus kamen zur Anwendung:

| | | |
|---------------|-------------------|------|
| $p \geq 0,05$ | nicht signifikant | n.s. |
| $p < 0,05$ | signifikant | * |
| $p < 0,01$ | hochsignifikant | ** |
| $p < 0,001$ | höchstsignifikant | *** |

3.3 Methodischer Fehler

Zur Erhebung des methodischen Fehlers bei der Auswertung der Fernröntgenaufnahmen wurden je 40% der männlichen ($n = 77$) und weiblichen ($n = 88$) FRS ausgewählt und nach einem erinnerungsfreien Zeitraum von ca. drei Monaten erneut ausgewertet. Die Größe des Methodenfehlers wurde nach der Formel von Dahlberg (1940) bestimmt.

$$MF = \sqrt{(\sum d^2 / 2n)}$$

(d = Differenz zwischen zwei Registrierungen, n = Anzahl der Messungen)

4 Ergebnisse

Die ermittelten Werte der einzelnen kephalometrischen und statistischen Auswertungen werden tabellarisch und graphisch in Balkendiagrammen dargestellt. Sie sind dem Anhang zu entnehmen. Die Daten wurden in Werte für das Längenwachstum des Unterkiefers, die Sagittalentwicklung des Oberkiefers, sowie die Vertikalentwicklung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe unterteilt. Aus jeder Tabelle ist ersichtlich, welche Stadien mit einander verglichen wurden. Die Differenz der Mittelwerte zwischen beiden Stadien (in %) sowie das Signifikanzniveau und die dazugehörigen Standardfehler wurden ebenfalls angegeben. Außerdem wurden die Mittelwerte des Alters für jede Gruppe (männliche und weibliche Heranwachsende, Cvm₁ - Cvm₆) und die Ergebnisse des t-Tests, welche männliche und weibliche Heranwachsende in Beziehung bringt, dargestellt. Alle Datentabellen der statistischen Auswertung mit SPSS® wurden dem Anhang beigelegt.

4.1 Kephالometrische Analyse

a. Alter

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass Mädchen ein Entwicklungsstadium 0,6 – 1,9 Jahre vor den Jungen erreichen. Die hohe Standardabweichung zeigt die breite Streuung in der individuellen Entwicklung der untersuchten Patienten.

b. Basal sagittale und basal vertikale Parameter

Alle erhobenen Parameter wurden für alle Halswirbelstadien (Cvm₁ – Cvm₆) in beschriebener Weise erfasst und befinden sich im Anhang in den Tabellen 7 – 18. Bei allen Messungen ist die zu erwartende kontinuierliche Größenzunahme der Mittelwerte zwischen den Stadien vorhanden. Ausnahmen hiervon traten nicht auf.

| | männlich | | | | weiblich | | | |
|------------------|----------|------|-------|-------|----------|------|-------|-------|
| Alter | Max. | Min. | MW | SD | Max. | Min. | MW | SD |
| Cvm ₁ | 14,6 | 8,1 | 10,12 | 1,496 | 11,1 | 8,0 | 9,28 | 0,840 |
| Cvm ₂ | 14,4 | 8,0 | 11,79 | 1,562 | 12,3 | 8,3 | 10,10 | 1,077 |
| Cvm ₃ | 15,4 | 8,4 | 12,38 | 1,647 | 15,0 | 8,4 | 11,15 | 1,459 |
| Cvm ₄ | 17,8 | 11,1 | 14,80 | 1,647 | 16,5 | 10,1 | 12,82 | 1,357 |
| Cvm ₅ | 17,5 | 13,0 | 16,05 | 1,156 | 17,7 | 11,4 | 14,82 | 1,496 |
| Cvm ₆ | 17,9 | 14,1 | 16,83 | 0,972 | 18,0 | 12,8 | 16,24 | 1,405 |

Tabelle 2: Maximal, Minimal und Mittelwerte des Alters für Knaben und Mädchen; Cvm_x beschreibt das Entwicklungsstadium, x steht dabei für numerische Bezeichnung Stadien (1 - 6)

4.2 Statistische Analyse

4.2.1 Alter

Die Auswertung des durchgeführten t-Test ergab hoch- und höchstsignifikante Unterschiede zwischen Mädchen und Knaben. Die Mädchen erreichten die Cvm - Stadien im Mittel stets 0,6 - 1,9 Jahre vor den Knaben. Das Cvm - Stadium 1 wurde von den Mädchen 0,838 Jahre signifikant ($p \leq 0,013$) früher als von Knaben erreicht. Höchstsignifikant ($p \leq 0,000$) waren die Unterschiede zwischen den Geschlechtern in den Stadien Cvm₂ (1,690 Jahre), Cvm₄ (1,977 Jahre) und Cvm₅ (1,230 Jahre). Im Cvm – Stadium 6 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern gefunden werden. Die Differenz zwischen ihnen betrug lediglich 0,591 Jahre. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Anhang Abbildung 22. Die Mittelwerte des Alters in einem bestimmten Stadium, die Anzahl n der Patienten, welche dieses Cvm Stadium erreichten, und das Ergebnis des t-Test für unabhängige Stichproben sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

| männlich | | | weiblich | | Differenz | p-Wert |
|------------------------|-------------|----|-------------|----|-----------|-----------|
| Stadium | MW Alter | n | MW Alter | n | | |
| Cvm₁ | 10,12 ±1,49 | 54 | 9,28 ±0,86 | 24 | 0,838 | 0,013* |
| Cvm₂ | 11,79 ±1,56 | 29 | 10,10 ±1,08 | 21 | 1,690 | 0,000*** |
| Cvm₃ | 12,38 ±1,65 | 23 | 11,15 ±1,46 | 34 | 1,228 | 0,006** |
| Cvm₄ | 14,80 ±1,64 | 51 | 12,82 ±1,36 | 42 | 1,977 | 0,000*** |
| Cvm₅ | 16,05 ±1,16 | 23 | 14,82 ±1,49 | 55 | 1,230 | 0,000*** |
| Cvm₆ | 16,83 ±0,97 | 12 | 16,24 ±1,41 | 38 | 0,591 | 0,182n.s. |

Tabelle 3: Mittelwerte Alter mit Signifikanzniveau für die Differenz zwischen beiden Geschlechtern, Cvm₁₋₆ geben die Entwicklungsstadien der Halswirbel an

4.2.2 Unterkieferlängenwachstum

Das Unterkieferlängenwachstum findet bei Knaben zu einem anderen Zeitpunkt als bei Mädchen statt. Für Knaben konnten signifikante Veränderungen für jeden Parameter zwischen Cvm₁ – Cvm₂ (CondGn, $p \leq 0,049$; GoMe, $p \leq 0,015$) und Cvm₃ – Cvm₄ (GoGn, $p \leq 0,028$; GoMe, $p \leq 0,021$) detektiert werden. Zusätzlich konnten für den Parameter Cond – Gn hochsignifikante Veränderungen zwischen Cvm₃ – Cvm₄ ($p \leq 0,005$) und Cvm₄ – Cvm₅ ($p \leq 0,002$) festgestellt werden. Daraus resultiert ein Wachstumsmaximum für das Unterkieferlängenwachstum bei Knaben im Cvm – Stadium 2 und 4. Bei Mädchen zeigte vor allem der Vergleich von Stadium Cvm₂ und Cvm₃ hochsignifikante Veränderungen (CondGn, $p \leq 0,001$; GoMe, GoGn, $p \leq 0,002$). Höchsts signifikante Veränderungen konnten zwischen Cvm₄ – Cvm₅ (SGn, GoMe, GoGn, $p \leq 0,000$) für die weiblichen Heranwachsenden konstatiert werden. Es resultiert daraus für das Unterkieferlängenwachstum ein Wachstumsgipfel im Cvm – Stadium 3 und 5. Weitere Daten sind aus Tabelle 4 zu entnehmen. Die graphische Darstellung der Ergebnisse ist dem Anhang (Abb. 23 - 32) zu entnehmen. Die blauen Diagramme spiegeln die Veränderung der männlichen, alle roten Diagramme die Veränderung der Parameter der weiblichen Heranwachsenden wieder. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 12 und 13) zeigen die Veränderung der ermittelten Parameter im Verlauf von

Cvm₁ bis Cvm₆. War eine Veränderung signifikant wurde der entsprechende p-Wert oberhalb des Graphen angegeben.

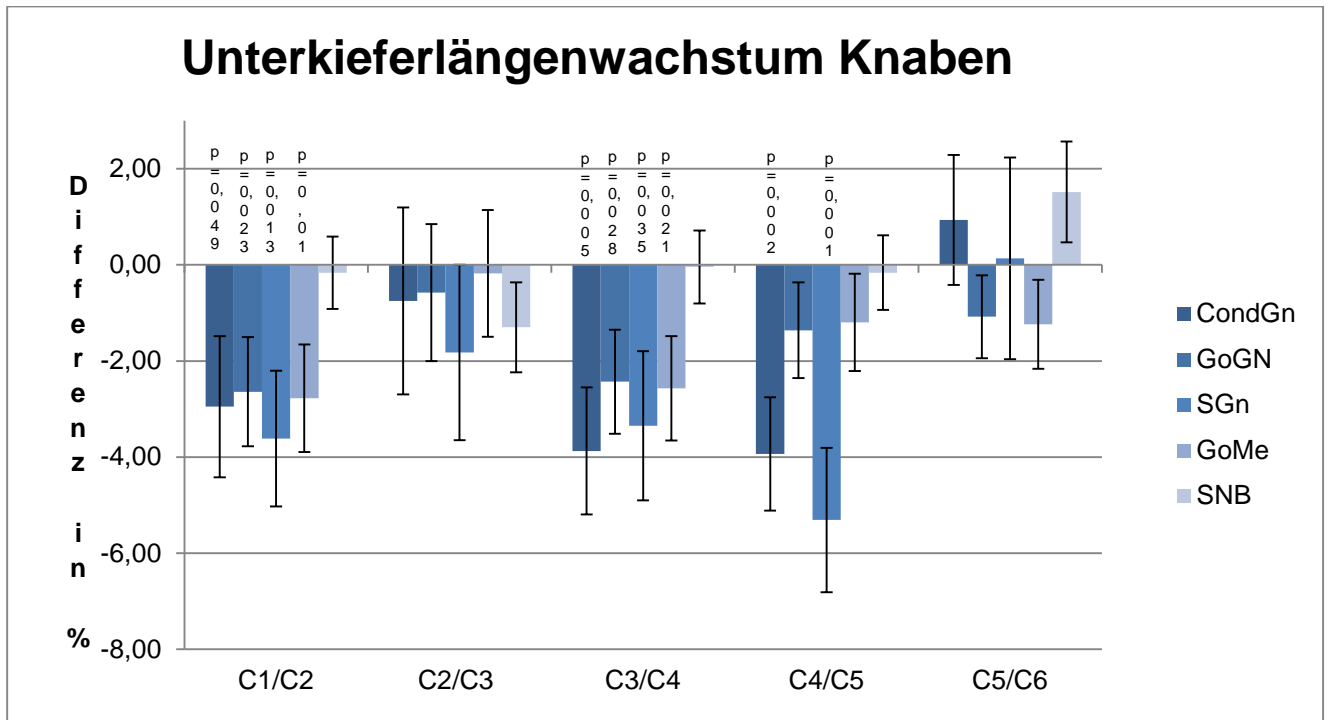


Abb. 12 Verlauf des Unterkieferlängenwachstums über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Knaben; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

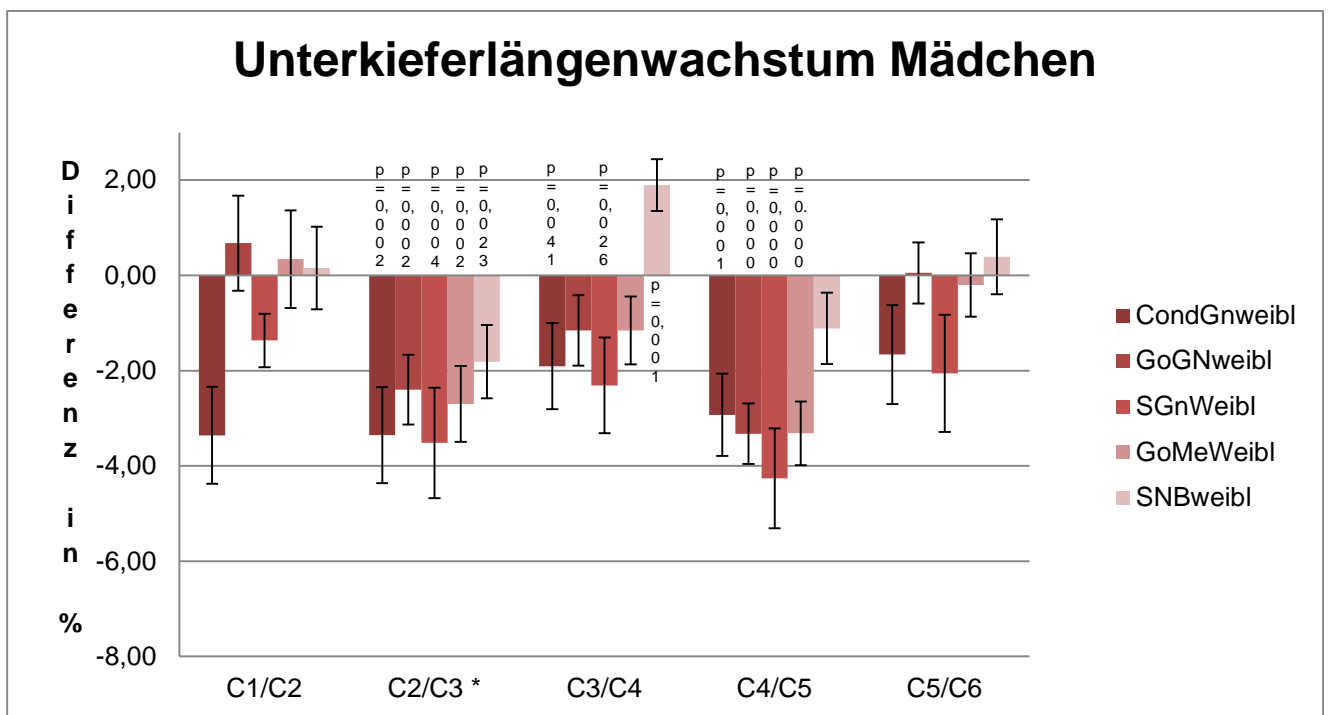


Abb. 13 Verlauf des Unterkieferlängenwachstums über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Mädchen; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

4.2.3 Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe

Die Strecke NMe wurde bei Knaben zwischen Cvm₁ und Cvm₂ signifikant ($p \leq 0,01$) sowie Cvm₄ und Cvm₅ hochsignifikant ($p \leq 0,008$) größer. Für die Strecke SpaMe konnte ebenfalls eine hochsignifikante Veränderung ($p \leq 0,003$) zwischen Cvm₄ - Cvm₅ gefunden werden. Für die Knaben resultiert daraus ein Wachstumsmaximum für die anteriore Gesichtshöhe im Cvm – Stadium 2 und 5. Ähnlich hochsignifikante Veränderung konnten auch bei den Mädchen z.B. für den Parameter SpaMe zwischen den Stadien Cvm₁ - Cvm₂ ($p \leq 0,003$) und Cvm₄ - Cvm₅ ($p \leq 0,006$) festgestellt werden. Zusätzlich konnte eine höchstsignifikante Größenzunahme für NMe ($p \leq 0,000$) zwischen den Stadien Cvm₃ und Cvm₄ detektiert werden. Die maximale Größenzunahme bei Mädchen liegt im Cvm – Stadium 4. Das Wachstum lässt sich allerdings nicht ausschließlich auf diese Stadien reduzieren, da in den Stadien 2 und 5 ebenfalls eine Zunahme der anterioren Gesichtshöhe nachgewiesen werden konnte. Alle Diagramme (Abb. 33 – 36) sind dem Anhang zu entnehmen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 14 und 15) zeigen die Veränderung der ermittelten Parameter im Verlauf von Cvm₁ bis Cvm₆.

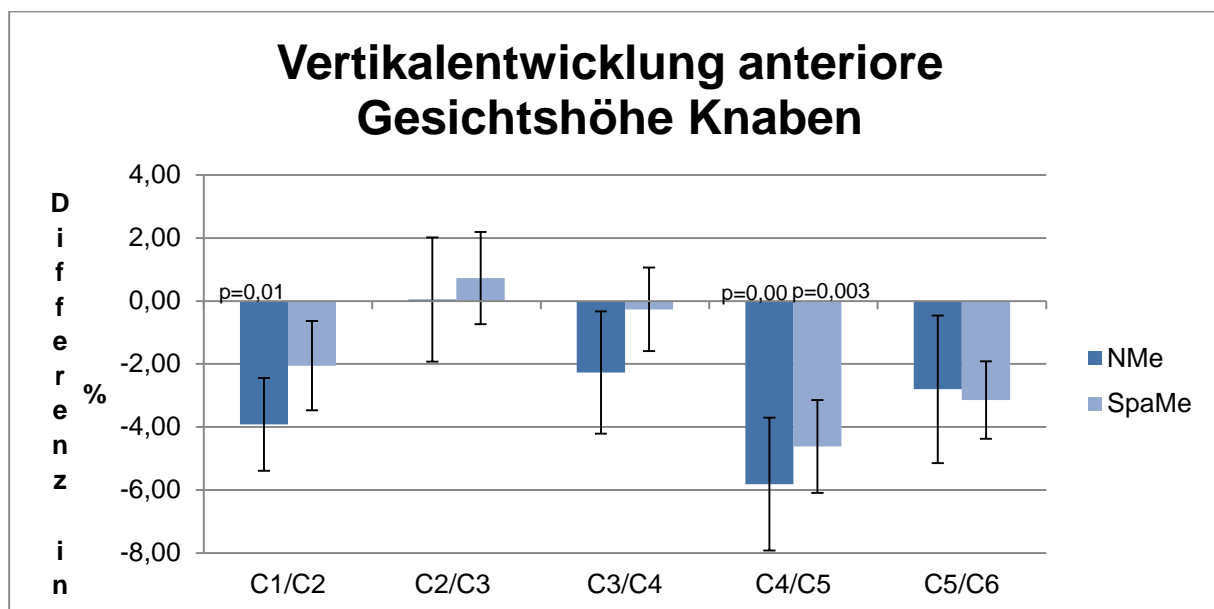


Abb. 14 Verlauf der Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Knaben; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

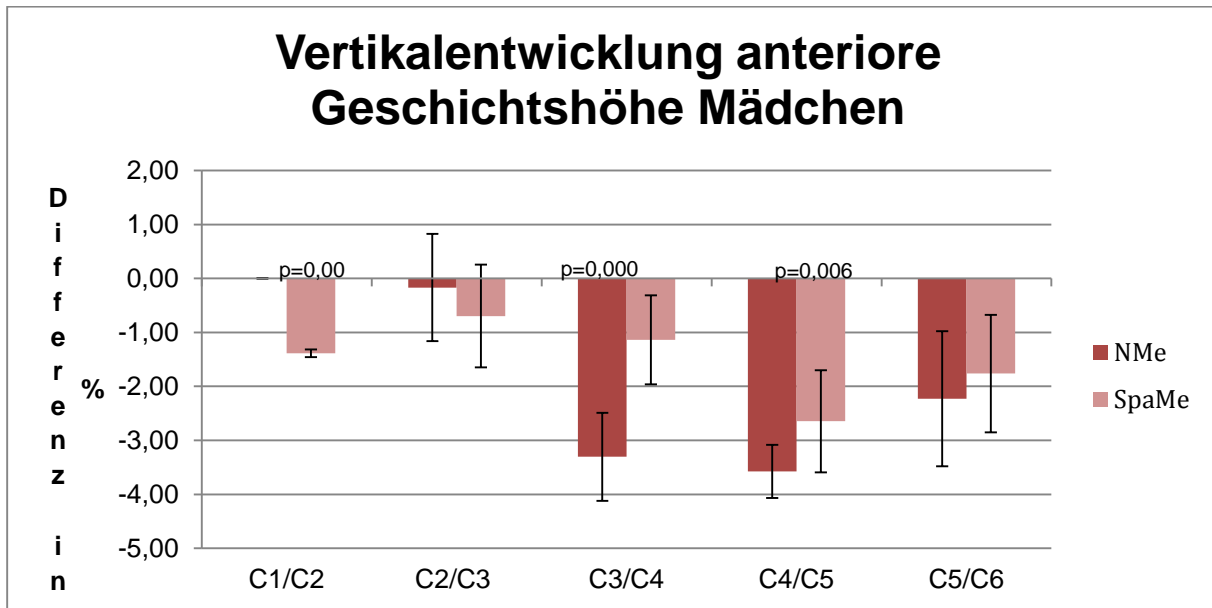


Abb. 15 Verlauf der Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Mädchen; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

4.2.4 Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe

Die Betrachtung der posterioren Gesichtshöhe zeigte für beide Geschlechter Veränderungen in den gleichen Stadien. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres Signifikanzniveaus. Für Knaben konnten signifikante Größenzunahmen zwischen Cvm₁ – Cvm₂ für CondGo ($p \leq 0,011$) und hochsignifikante für SGo ($p \leq 0,003$) sowie höchstsignifikante für beide Parameter ($p \leq 0,000$) zwischen Cvm₄ – Cvm₅ dargestellt werden. Es resultiert ein Wachstumsmaximum in den Cvm – Stadien 2 und 5. Bei den Mädchen zeigte sich eine diffusere Verteilung. Zusätzlich zu den Stadien Cvm₂ und Cvm₅ fanden sich signifikante Veränderungen im Stadium Cvm₄. Die Strecke SGo wurde zwischen Cvm₁ – Cvm₂ ($p \leq 0,015$) und Cvm₃ – Cvm₄ ($p \leq 0,020$) signifikant, sowie höchstsignifikante ($p \leq 0,000$) zwischen Cvm₄ – Cvm₅ größer. Der Parameter CondGo zeigte eine signifikante Größenzunahme zwischen Cvm₃ – Cvm₄ ($p \leq 0,020$), Cvm₄ – Cvm₅ ($p \leq 0,011$) und Cvm₅ – Cvm₆ ($p \leq 0,023$) sowie eine höchstsignifikante ($p \leq 0,000$) zwischen Cvm₁ – Cvm₂. Das Wachstumsmaximum ist daher nicht auf ein Stadium festlegbar. Alle Diagramme (Abb. 37 – 40) sind dem Anhang zu entnehmen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 16 und 17) zeigen die Veränderung der ermittelten Parameter im Verlauf von Cvm₁ bis Cvm₆.

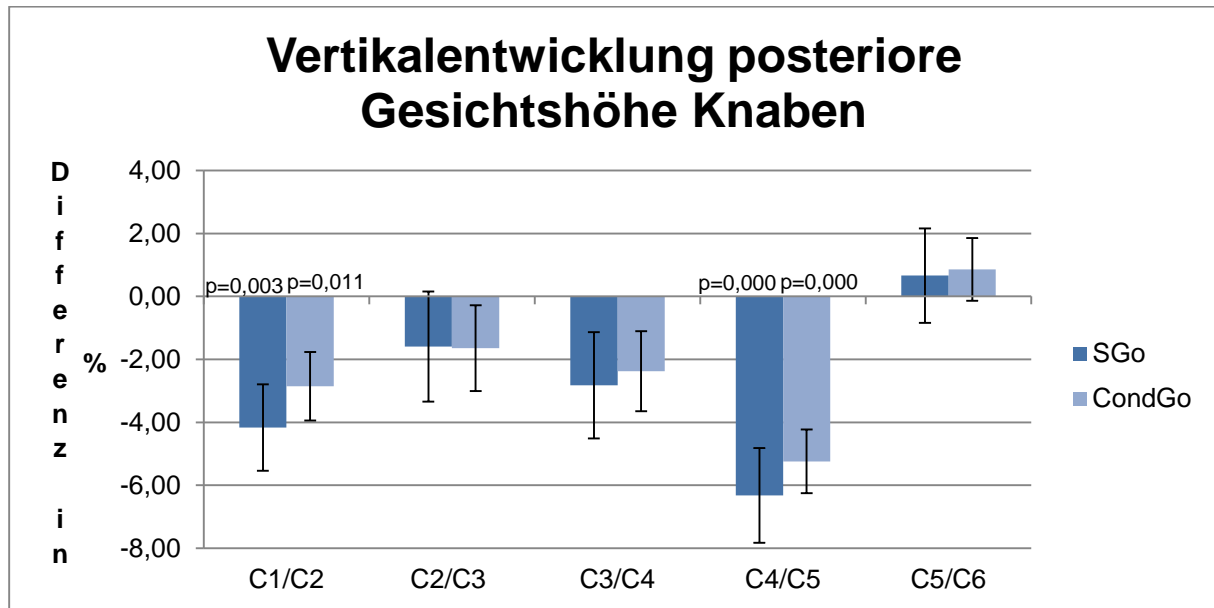


Abb. 16 Verlauf der Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe über die verschiedenen Cvm-Stadien bei Knaben; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

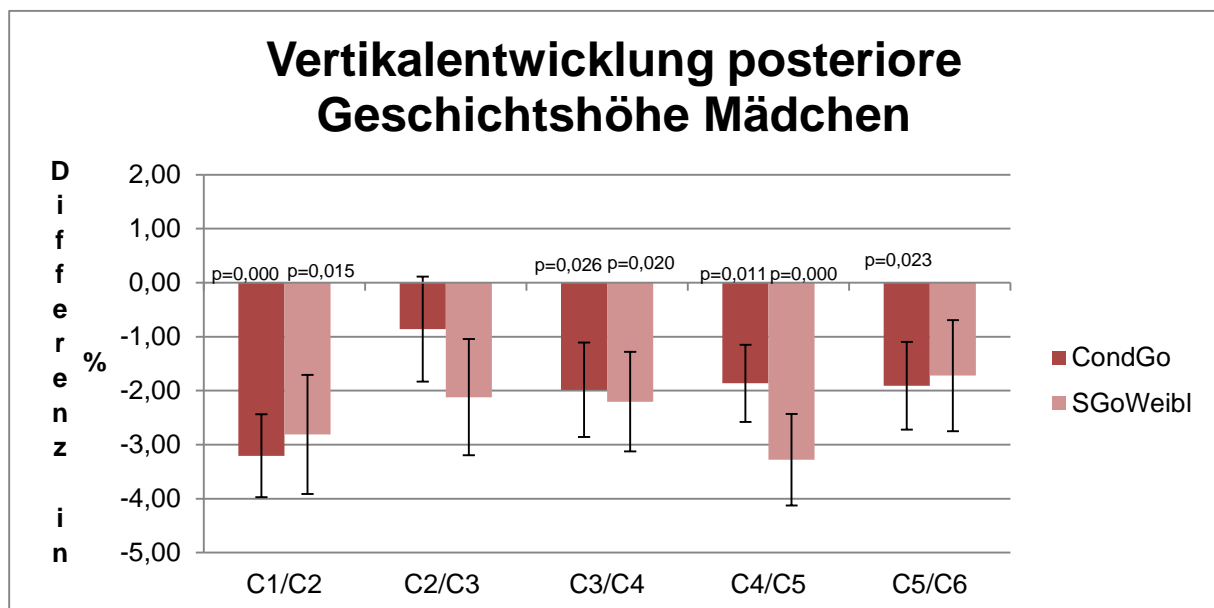


Abb. 17 Verlauf der Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Mädchen; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

4.2.5 Sagittalentwicklung des Oberkiefers

Bei Knaben erfolgte eine hochsignifikante Längenzunahme der Maxilla (SpaSp p \leq 0,004) zwischen Cvm₄ – Cvm₅. Weitere signifikante Veränderungen konnten für

SpaSpp bei Knaben nicht gefunden werden. Eine signifikante Veränderung des Winkels SNA ($p \leq 0,017$) erfolgte zwischen Cvm₅ – Cvm₆. Es handelt sich hierbei um eine Verkleinerung des Winkels. Als Wachstumsmaximum würde Stadium Cvm₅ für Knaben resultieren.

Bei den Mädchen kristallisierten sich signifikante Veränderungen zwischen den Stadien Cvm₂ und Cvm₃ (SpaSpp, $p \leq 0,014$; SNA, $p \leq 0,023$) und Cvm₄ und Cvm₅ (SpaSpp $p \leq 0,016$) heraus. Als Wachstumsmaximum für die Sagittalentwicklung des Oberkiefers würden die Stadien Cvm₃ und Cvm₅ für Mädchen resultieren. Weder bei Knaben noch bei Mädchen konnte ein Zusammenhang zwischen SpaSpp und SNA gefunden werden. Zusätzlich wurde der Winkel SNA bei den Mädchen nach der signifikanten Größenzunahme wieder kleiner. Daher wird darauf verzichtet, die theoretisch definierten Stadien als Stadien des Wachstumsmaximums zu bezeichnen. Ein eindeutiges Wachstumsmaximum konnte nicht verzeichnet werden. Alle Diagramme (Abb. 41 – 44) sind dem Anhang zu entnehmen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 18 und 19) zeigen die Veränderung der ermittelten Parameter im Verlauf von Cvm₁ bis Cvm₆.

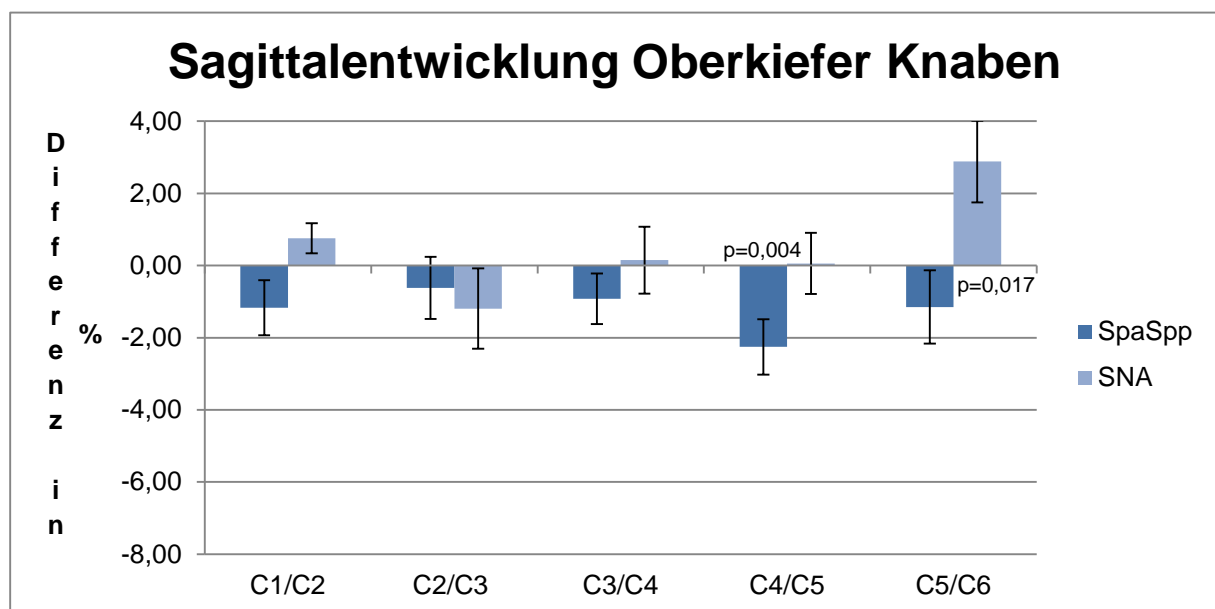


Abb. 18 Verlauf der Sagittalentwicklung des Oberkiefers über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Knaben; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

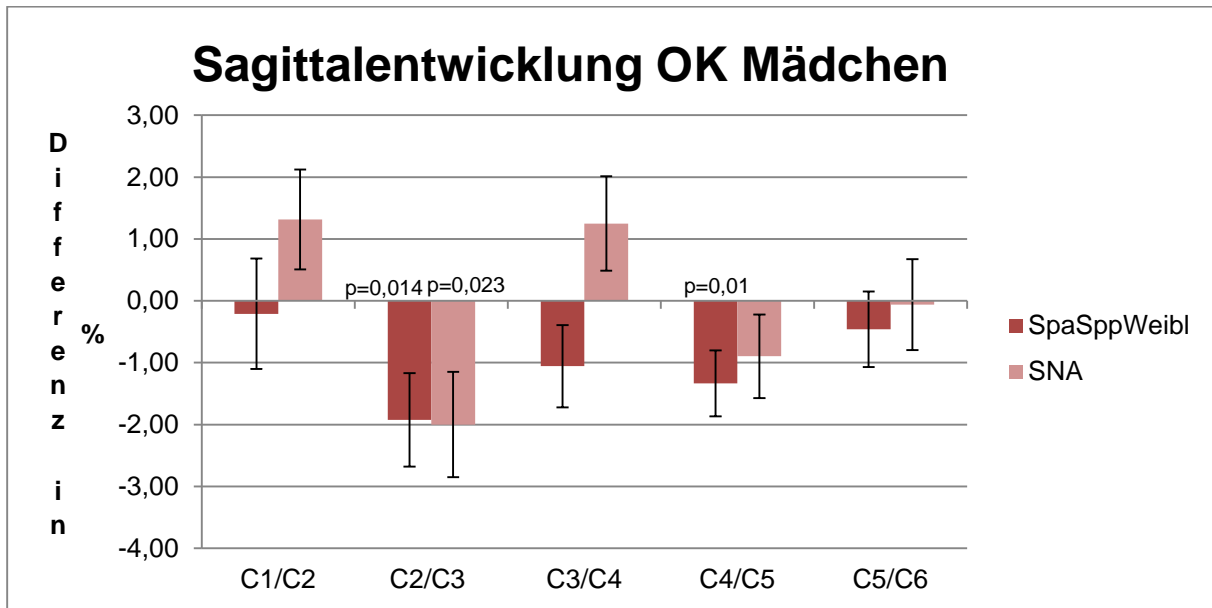


Abb. 19 Verlauf der Sagittalentwicklung des Oberkiefers über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Mädchen; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

4.2.6 Vertikalentwicklung des Unterkiefers

Die Vertikalentwicklung des Unterkiefers wurde anhand des Winkels ArGoMe beurteilt. Er ist auch ein Maß für die Beurteilung des Wachstumsmusters eines Gesichtes. Bei der Betrachtung der Ergebnisse konnte nur bei den Knaben eine signifikante Veränderung des Wertes gefunden werden. Es erfolgte eine signifikante Verkleinerung ($p \leq 0,024$) des Winkels zwischen den Stadien Cvm₁ und Cvm₂. Während der weiteren Entwicklung von Cvm₂ bis Cvm₆ erfolgte eine Verkleinerung des Winkels um zirka 3 Grad. Jedoch war die Verkleinerung für kein weiteres Stadium signifikant. Für die Mädchen konnten für ArGoMe keine signifikanten Veränderungen ermittelt werden. Ein Vergleich der Stadien Cvm₁ und Cvm₂ war für den Winkel ArGoMe aufgrund numerischer Fehler nicht möglich. Eine Verkleinerung des Winkels um 1,9 Grad ist allerdings auch bei den Mädchen festzustellen. Es zeigte sich, dass sich die vertikale Dimension der Unterkieferentwicklung bzw. das Wachstumsmuster kontinuierlich zwischen den Stadien Cvm₁ und Cvm₆ verändert. Ein Zusammenhang zwischen maximaler Zunahme der posterioren Gesichtshöhe und Vertikalentwicklung des Unterkiefers bzw. einer Veränderung des Wachstumsmusters konnte hergestellt werden. Beides findet bei Knaben im Cvm – Stadium 2 statt. Bei Mädchen zeigte sich für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe und die Veränderung des Wachstumsmusters eine

diffuse aber kontinuierliche Veränderung. Alle Diagramme (Abb. 45 und 46) sind dem Anhang zu entnehmen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 20 und 21) zeigen die Veränderung der ermittelten Parameter im Verlauf von Cvm₁ bis Cvm₆.

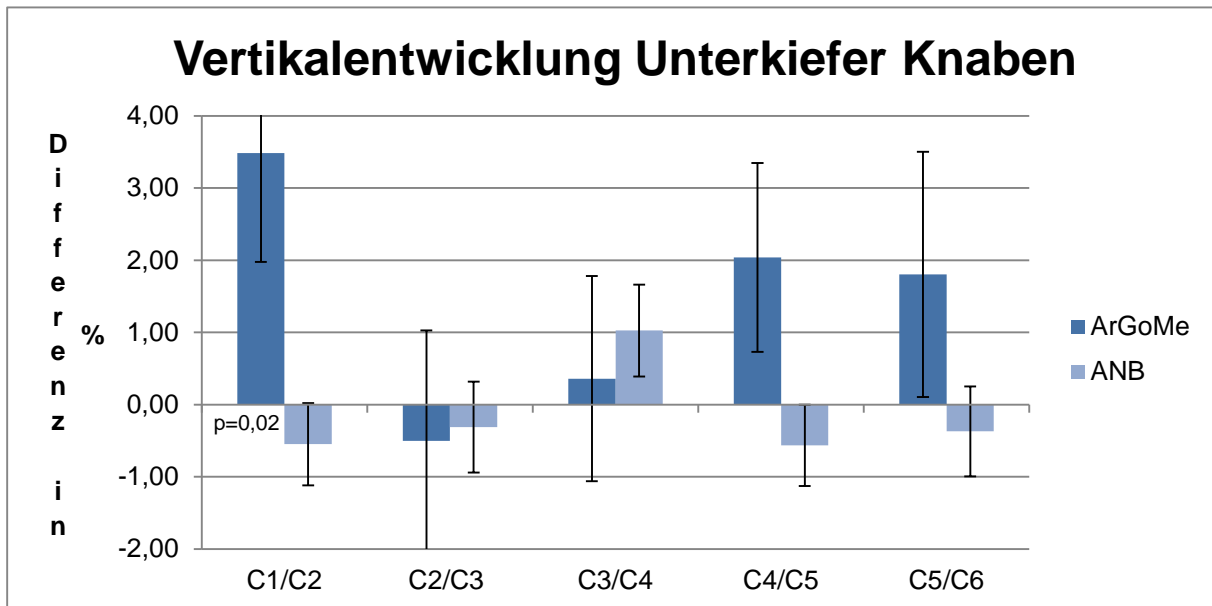


Abb. 20 Verlauf der Vertikalentwicklung des Unterkiefers über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Knaben; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

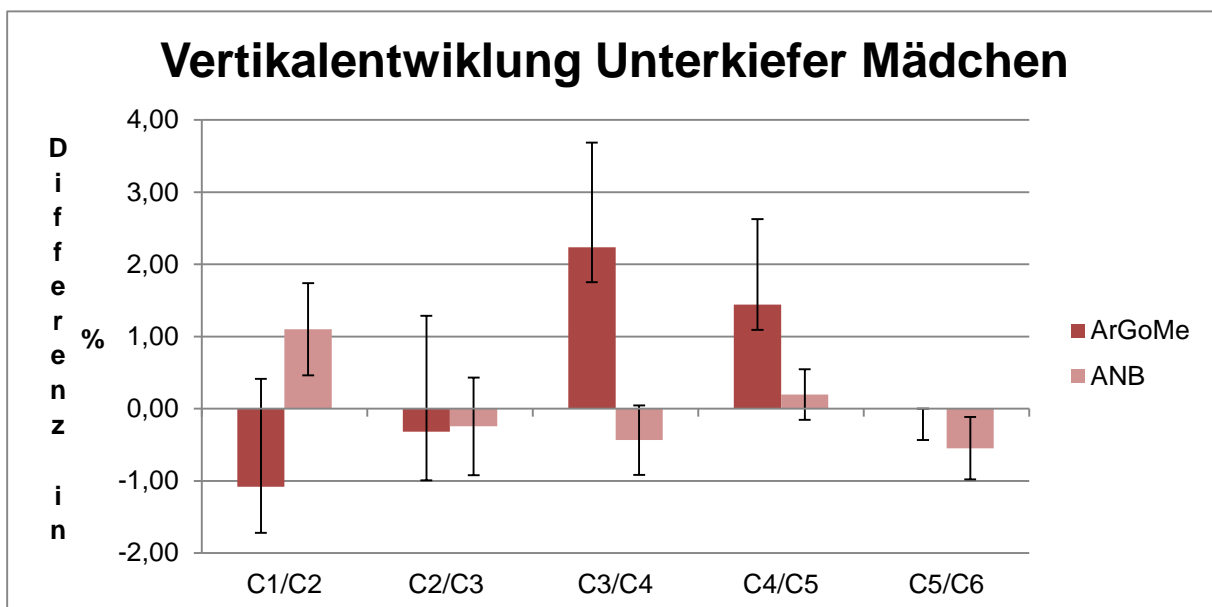


Abb. 21 Verlauf der Vertikalentwicklung des Unterkiefers über die verschiedenen Cvm – Stadien bei Mädchen; die p-Werte geben das Signifikanzniveau der erfolgten Veränderung des jeweiligen Parameters an

| | | Männlich | | Weiblich | |
|--|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| UK- Längenwachstum | CondGn | C_1/C_2^* $p \leq 0,049$ | C_3/C_4^{**} $p \leq 0,005$ | C_4/C_5^{**} $p \leq 0,002$ | C_2/C_3^{**} $p \leq 0,002$ C_3/C_4^* $p \leq 0,041$ C_4/C_5^{***} $p \leq 0,001$ |
| | GoGn | C_1/C_2^* $p \leq 0,023$ | C_3/C_4^* $p \leq 0,028$ | | C_2/C_3^{**} $p \leq 0,002$ C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ |
| | GoMe | C_1/C_2^* $p \leq 0,015$ | C_3/C_4^* $p \leq 0,021$ | | C_2/C_3^{**} $p \leq 0,002$ C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ |
| | SGn | C_1/C_2^* $p \leq 0,013$ | C_3/C_4^* $p \leq 0,035$ | C_4/C_5^{***} $p \leq 0,001$ | C_2/C_3^{**} $p \leq 0,004$ C_3/C_4^* $p \leq 0,026$ C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ |
| | SNB | / | | | C_2/C_3^* $p \leq 0,023$ C_3/C_4^{***} $p \leq 0,001$ |
| Vertikalentwicklung ant. Gesichtshöhe | NMe | C_1/C_2^{**} $p \leq 0,01$ | C_4/C_5^{**} $p \leq 0,008$ | | C_3/C_4^{***} $p \leq 0,000$ |
| | SpaMe | C_4/C_5^{**} $p \leq 0,003$ | | | C_1/C_2^{**} $p \leq 0,003$ C_4/C_5^{**} $p \leq 0,006$ |
| Verikalentwicklung pos. Gesichtshöhe | SGo | C_1/C_2^{**} $p \leq 0,003$ | C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ | | C_1/C_2^* $p \leq 0,015$ C_3/C_4^* $p \leq 0,020$ C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ |
| | CondGo | C_1/C_2^* $p \leq 0,011$ | C_4/C_5^{***} $p \leq 0,000$ | | C_1/C_2^{***} $p \leq 0,000$ C_3/C_4^* $p \leq 0,026$ C_4/C_5^* $p \leq 0,011$ C_5/C_6^* $p \leq 0,023$ |
| Sagittalentwicklung OK | SpaSpp | C_4/C_5^{**} $p \leq 0,004$ | | | C_2/C_3^* $p \leq 0,014$ C_4/C_5^* $p \leq 0,016$ |
| | SNA | C_5/C_6^* $p \leq 0,017$ | | | C_2/C_3^* $p \leq 0,023$ |
| Vertikalentwicklung UK | ArGoMe | C_1/C_2^* $p \leq 0,024$ | | / | / |
| * signifikant | ** hoch signifikant | *** höchst signifikant | | | |

Tabelle 4: Korrelation der erhobenen Parameter mit den Entwicklungsstadien der Wirbelkörper für Knaben und Mädchen

4.3 Methodenfehler

Der für alle Parameter bestimmte Methodenfehler wurde nach der Formel von Dahlberg berechnet, um den Fehler bei der Auswertung der Röntgenbilder zu erheben. Die Werte sind für männliche (Tabelle 5) und weibliche Probanden (Tabelle 6) getrennt aufgeführt.

| Parameter | Methodenfehler |
|-------------|----------------|
| CondGn (mm) | 0,0402 |
| GoGn (mm) | 0,0080 |
| SGn (mm) | 0,0000 |
| NMe (mm) | 0,0161 |
| SpaMe (mm) | 0,0322 |
| SGo (mm) | 0,0161 |
| CondGo (mm) | 0,0403 |
| GoMe (mm) | 0,0483 |
| SpaSpp (mm) | 0,0483 |
| ANB (°) | 0,0483 |
| SNB (°) | 0,0242 |
| SNA (°) | 0,0242 |
| ArGoMe (°) | 0,0242 |

Tabelle 5: Methodenfehler nach Dahlberg für Daten männlicher Heranwachsender

| Parameter | Methodenfehler |
|-------------|----------------|
| CondGn (mm) | 0,0227 |
| GoGn (mm) | 0,0076 |
| SGn (mm) | 0,0152 |
| NMe (mm) | 0,0606 |
| SpaMe (mm) | 0,0152 |
| SGo (mm) | 0,0152 |
| CondGo (mm) | 0,0000 |
| GoMe (mm) | 0,0531 |
| SpaSpp (mm) | 0,1289 |
| ANB (°) | 0,0455 |
| SNB (°) | 0,0606 |
| SNA (°) | 0,0152 |
| ArGoMe (°) | 0,0379 |

Tabelle 6: Methodenfehler nach Dahlberg für Daten weiblicher Heranwachsender

5 Diskussion

5.1 Material

Die Patienten dieser Studie stammen aus dem Patientenstamm der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes. Es wurden 54 weibliche und 53 männliche Patienten in die Untersuchung einbezogen. Alle wurden aufgrund einer kieferorthopädischen Indikation nach Kassenrichtlinien behandelt und waren zwischen 8,0 – 18,0 Jahren alt. In bisherigen Studien zu diesem Thema wurden häufig weniger als 50 Patienten untersucht. Das Alter wurde oft gar nicht angegeben oder spielte bei der primären Patientenauswahl eine untergeordnete Rolle (Bacetti *et al.*, 2002, 2005, 2007; Baptista *et al.*, 2012). Wurde das Alter vor der Patientenwahl definiert, lag es zwischen 7 und 15,7 (Caldas *et al.*, 2007), 9 und 18 Jahren (Ball *et al.*, 2011) oder 6 und 18 Jahren (Pasciuti *et al.*, 2013). Da das Wachstum bis zu einem Alter von 15,6 Jahren nicht abgeschlossen ist, wurden Patienten bis zu einem Alter von 18 Jahren in diese Untersuchung einbezogen. Damit eine ausreichend große Datenmenge zur Verfügung stand sollten mindestens 20 Personen pro Altersgruppe und Geschlecht zu Beginn der Untersuchung einbezogen werden. Es wurde gezielt darauf geachtet, dass die Gruppengrößen mit 20 ± 4 Personen annähernd gleich groß waren. Wie bei den meisten bisher angefertigten Studien, wurden alle Patienten unabhängig von der kieferorthopädischen Indikation eingeschlossen (Caldas *et al.*, 2007; Chatzigianni & Halazoneti, 2009; Ball *et al.*, 2011; Pasciuti *et al.*, 2013). Im Gegensatz dazu untersuchten Stahl de Castrillon *et al.* (2013) unbehandelte Mädchen ($n = 16$) und Knaben ($n = 16$) im Alter zwischen 6 – 17 Jahren. Alle Studienteilnehmer wiesen eine regelrechte Okklusion auf. Die Untersuchung von Patienten mit regelrechter Okklusion hat den Vorteil, dass Wachstumsstörungen wie bei einer skelettalen Klasse II oder III keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Untersuchung unbehandelter Patienten mit regelrechter Okklusion sollte daher bevorzugt werden. Auch in der vorliegenden Studie können die Ergebnisse, vor allem in Bezug auf das Oberkieferlängenwachstum, durch die Einbeziehung von Patienten mit Angle Klasse III verfälscht worden sein. Die Einteilung der untersuchten Patienten erfolgte in Altersgruppen. Gezielt wurde dabei

ein Abstand von einem Jahr festgelegt, um feststellen zu können, ob einem Cvm - Stadium eine bestimmte Altersgruppe zugeteilt werden kann. In einer Studie von Pasciuti *et al.* (2013) erfolgte die Einteilung der Patienten ebenfalls nach Altersgruppen. Eine Altersgruppe umfasste einen Zeitraum von ein bis drei Jahre. Die Wahl der Größe der Altersgruppen unterscheidet sich also deutlich von der vorliegenden Untersuchung. Es erfolgte eine Unterscheidung zwischen Mädchen und Knaben.

5.2 Methode

5.2.1 Kephalometrische Methode

Die Aufnahmen wurden immer mit dem gleichen Röntgengerät und der gleichen Software angefertigt und bearbeitet. Verschiedene Studien (Bruntz, 2006; Korkmaz *et al.*, 2007) belegen, dass bezüglich der Genauigkeit beim Auswerten keine Unterschiede zwischen konventionell ausgewerteten, digitalisierten und computergestützt ausgewerteten Röntgenbildern bestehen. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programms Onyx Ceph®. Der durch das Röntgenverfahren bedingte geometrische Abbildungsfehler (Vergrößerungsfaktor) wird mittels eines Kalibrierungsmaßstabes direkt kompensiert. Von Bedeutung ist auch, dass die Auswertung nur von einer Person durchgeführt wurde. Jeder Untersucher interpretiert eine anatomische Struktur gedanklich geringfügig anders, obwohl die Definition der Bezugspunkte für alle verbindlich ist (Miethke, 1989). Geringfügige Größenabweichungen bei der Betrachtung der Röntgenbilder durch zwei Beobachter sind daher möglich. Da die Untersuchung hier durch nur eine Person durchgeführt wurde, kann diese Fehlerquelle ausgeschlossen werden.

Die Cvm – Methode zur Beurteilung der skelettalen Reife wird kritisch betrachtet. Viele Autoren (Hellsing, 1991; Mito *et al.*, 2002; Baccetti *et al.*, 2002; Gandini *et al.*, 2006; Uysal *et al.*, 2006; Stiehl *et al.*, 2009; Wong *et al.*, 2009) beschreiben sie als valide und sinnvoll nutzbar zur Beurteilung des Entwicklungsstandes von Kindern und Jugendlichen. Hellsing kam bereits 1991 zu dem Schluss, dass das FRS eine Alternative zur Anfertigung einer Handröntgenaufnahme sein kann. Sie untersuchte 107 Knaben und Mädchen im Alter von 8, 11 und 15 Jahren sowie 22 Erwachsene.

Bei allen Individuen zeigte sich eine Höhen- und Längenzunahme der Wirbelkörper mit zunehmendem Alter. Weiterhin konnten Ähnlichkeiten zu den Reifeindikatoren im Bereich der Handwurzelknochen gefunden werden. Dies ließ sie zu dem Schluss kommen, dass die Wirbelkörperentwicklung eine alternative Methode zur Beurteilung der skelettalen Reife sein kann. Auch Gandini *et al.* (2006) bestätigten dies. Untersucht wurden 16 weibliche und 14 männliche Patienten im Alter von 7 – 18 Jahren. Die Studie ergab eine Korrelation der Cvm – Stadien mit den Entwicklungsstadien der Handwurzelknochen nach Björk. Er schloss daraus, dass die Cvm – Methode ebenso aussagekräftig und reproduzierbar wie die Handröntgenaufnahme ist. Kritische Studien zur Aussagekräftigkeit der Cvm – Methode gibt es allerdings auch. Mellion *et al.* (2013) zeigten in ihrer Untersuchung, einem Vergleich verschiedener Methoden zur Beurteilung des Wachstums des Gesichtsschädels, dass die Cvm – Methode am wenigsten geeignet ist das puberale Wachstumsmaximum zu bestimmen. Bessere Indikatoren schienen chronologisches Alter und Handröntgenaufnahme zu sein. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Chatzigianni & Halazonetis, (2009); Fudalej & Bollen, (2010); Ball *et al.*, (2011) und Nestman *et al.*, (2011). Sie zeigten ebenfalls, dass eine genaue Bestimmung des präpubertären Wachstumsminimums, des puberalen Wachstumsmaximums oder des Wachstumspotentials nach dem puberalen Wachstumspunkt nicht möglich ist. Die Verwendung der Cvm – Methode in Kombination mit weiteren biologischen Indikatoren zur Bestimmung des Entwicklungsstandes wird vorgeschlagen (Fudalej & Bollen, 2010; Ball *et al.*, 2011).

5.3 Ergebnisse der kephalometrischen Analyse

5.3.1 Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und skelettaler Reife

Die Auswertung der Ergebnisse ergab eine ausgeprägte Streuung des Alters. Nicht alle Patienten einer Altersgruppe zeigten automatisch auch das gleiche Entwicklungsstadium der Halswirbelkörper. In zahlreichen Studien wurde bisher bestätigt, dass es nur eine geringe Korrelation zwischen Halswirbelkörperentwicklungsstadium und chronologischem Alter gibt. Alkhal *et al.* (2008) untersuchten den möglichen Zusammenhang zwischen Cvm - Methode, Handröntgen und chronologischem Alter. Anhand von

400 FRS und Handröntgenaufnahmen von Mädchen zwischen 10 - 15 Jahren und Knaben zwischen 12 - 17 Jahren konnte gezeigt werden, dass nur eine geringe Korrelation zwischen Cvm – Methode und Alter der Probanden bestand. Sie zeigten somit, dass das Alter keine Aussagekraft bezüglich der skelettalen Reife besitzt. Ähnliches konnte auch durch Baccetti *et al.* (2006) demonstriert werden. Rückschlüsse vom chronologischen Alter auf die skelettale Reife sind somit nicht möglich. Altan *et al.* untersuchten 2012 die Entwicklung der Halswirbelkörper bei 41 Mädchen im Alter von 8 - 17 Jahren. Diese wurden in Altersgruppen (8, 9, 10 [...] 18) eingeteilt. Anschließend erfolgte eine Einteilung in Altersintervalle von 8,5 – 17,5 Jahre. Zur Auswertung kamen 154 FRS. Das ermittelte Alter, in welchem ein Cvm – Stadium erreicht wurde, war ähnlich dem Alter der Mädchen der vorliegenden Untersuchung. Die Anzahl der beurteilten FRS war jedoch um ca. 25% kleiner. Im Cvm – Stadium 1 hatten die untersuchten Probanden ein durchschnittliches Alter von 9,46 Jahren. In Cvm₂ waren die Mädchen durchschnittlich 11,14 Jahre, im Cvm₃ 12,37 Jahre, im Cvm₄ 13,62 Jahre, im Cvm₅ 14,36 Jahre und im Cvm₆ 15,57 Jahre alt. Durch die große Differenz zwischen Altersminimum und –maximum sind auch hier keine Rückschlüsse vom chronologischen Alter auf die skelettale Reife möglich. Der Altersunterschied zwischen den Gruppen war signifikant.

5.3.2 Basal sagittale und basal vertikale Parameter

Eine kontinuierliche Größenzunahme der verschiedenen Parameter im Verlauf zwischen Cvm₁ und Cvm₆ konnte wie erwartet festgestellt werden. Die Zunahme beruhte auf stattfindendem Wachstum und trat bei allen Individuen in unterschiedlicher Ausprägung auf. Lediglich der Parameter ArGoMe zeigte einen inversen Verlauf. Dies beruht auf der physiologischen Verkleinerung des Kieferwinkels. Bei Säuglingen erscheint der Kieferwinkel sehr flach. Mit zunehmendem Alter wird er immer kleiner. Das Ausmaß der Verkleinerung scheint allerdings mit zirka 6° bei Knaben wesentlich deutlicher ausgeprägt zu sein als bei Mädchen. Bei Männern resultiert daraus vor allem in der dritten und vierten Lebensdekade eine anterior Rotation des Unterkiefers mit zunehmender Kinnprominezenz. Bei Frauen hingegen erfolgt eine posteriore und kaudale Rotation (West & McNamara, 1999; Pecora *et al.*, 2008). Die Betrachtung des Parameters SNA zeigte kontroverse Ergebnisse. Bei weiblichen Heranwachsenden blieb

SNA konstant. Bei den männlichen Heranwachsenden blieb SNA ebenfalls weitgehend konstant, wurde jedoch im letzten Stadium kleiner. In Abhängigkeit der Patientenauswahl könnte dies erklärbar sein. In die Untersuchung wurden nicht nur Patienten mit skelettaler Klasse I einbezogen. Auch Patienten mit skelettaler Klasse II und III wurden beurteilt. Dies und die Tatsache, dass der A - Punkt einer der schwieriger zu setzenden Punkte im FRS ist, kann zu diesem Ergebnis geführt haben.

5.4 Statistische Ergebnisse

5.4.1 Altersvergleich zwischen Mädchen und Knaben

Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass Mädchen ein Cvm – Stadium zirka 0,6 – 2 Jahren vor den Knaben erreichen. Die Unterschiede waren außer im Stadium Cvm₆ signifikant (Cvm₁, $p \leq 0,013$), hochsignifikant (Cvm₃, $p \leq 0,006$) oder höchstsignifikant (Cvm_{2,4,5}, $p \leq 0,000$). Ein Altersvergleich zwischen Knaben und Mädchen in Bezug auf die Halswirbelkörperentwicklungsstadien konnte in der Literatur nicht gefunden werden. Es zeigte sich, dass die Mädchen den Knaben in ihrer skelettalen Entwicklung voraus sind. Dies entspricht den Untersuchungen zur Beurteilung der skelettalen Reife anhand von Handröntgenaufnahmen. Auch die Wachstumsraten nach Björk zeigen, dass das Wachstumsmaximum bei Mädchen zirka. 2 Jahre früher als bei Knaben auftritt (Björk & Helm, 1967). Dieser Zusammenhang lies sich auch über die Halswirbelkörperreife bestätigen (Ochoa & Nanda, 2004). Die hier vorliegende Untersuchung zeigt aber auch, dass Mädchen und vor allem Knaben bis zu einem Alter von 18 Jahren nicht ausgewachsen sind. Besonders deutlich wird dies bei der Betrachtung des Cvm - Stadium 6. Es markiert den Abschluss des Wachstums. Nur 9/54 Knaben erreichten dieses Stadium. Im Vergleich dazu konnten 23/53 Mädchen dieses Entwicklungsstadium erreichen. Dies zeigt deutlich, dass Mädchen den Jungen in der Entwicklung voraus sind. Bondevik (2012) zeigte ebenfalls, dass das Wachstum und die Veränderungen des Gesichtes bis zum 18. Lebensjahr nicht abgeschlossen sind. In einer Untersuchung zu den dentofazialen Veränderungen an 93 männlichen und weiblichen Probanden zwischen 22 und 43 Jahren

konnte festgestellt werden, dass sich der Gesichtsschädel auch in der dritten und vierten Lebensdekade noch signifikant verändert. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass die Wachstumsrate des Unterkiefers von der dritten bis zur vierten Lebensdekade abnimmt. Ähnliches konnte auch in Untersuchungen von Nanda & Ghosh (1995), West *et al.* (1999) und Pecora *et al.* (2008) gezeigt werden. In allen genannten Studien konnten außerdem Veränderungen der Weichgewebe festgestellt werden.

5.4.2 Unterkieferlängenwachstum

Die Beurteilung des Wachstums des Unterkiefers ist besonders in Bezug auf die Therapie einer ausgeprägten skelettalen Klasse II von Bedeutung. Optimale zeitliche Koordination, gute Planung und Diagnostik sind nötig, um Wachstum therapeutisch beeinflussen zu können. Um das puberale Wachstumsmaximum bestimmen zu können, wurde bisher eine zusätzliche Röntgenaufnahme der Hand angefertigt. Laut Literatur korreliert das Wachstumsmaximum für Knaben und Mädchen mit den Stadien 3 und 4 (Franchi *et al.*, 2000; Baccetti *et al.*, 2005; Gu & McNamara 2007; Ball *et al.*, 2011). Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden nicht dargestellt. Ball *et al.* (2011) untersuchten ausschließlich Knaben. In allen weiteren genannten Studien waren die Untersuchungsgruppen immer gemischt. Baccetti *et al.* (2007) untersuchte den Zusammenhang zwischen den Veränderungen des Gesichtsschädels bei Patienten mit skelettaler Klasse III in Korrelation zur skelettalen und dentalen Entwicklung. Auch hier war das Unterkieferlängenwachstumsmaximum zwischen Cvm₃ und Cvm₄ zu verzeichnen. Zusätzlich konnte eine zweimal größere Längenzunahme bei Mädchen und eine dreimal stärkere Längenzunahme bei Knaben mit skelettaler Klasse III zwischen den Stadien Cvm₄ bis Cvm₆, im Vergleich zu Patienten mit Klasse I festgestellt werden. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den hier vorliegenden, fällt auf, dass das Wachstumsmaximum bei Mädchen in Stadium 3 und 5 und Stadium 2 und 4 bei Knaben stattfindet. Es scheint, dass das Wachstum bei Knaben früher beginnt als bei Mädchen, bei diesen aber länger anhält. Fügt man die Ergebnisse beider Geschlechter zusammen, bekommt man die Ergebnisse, welche auch in der Literatur als Wachstumsmaximum angegeben werden. Eine genauere Beurteilung des Wachstums bei Knaben und Mädchen ist also möglich, betrachtet man diese unabhängig voneinander. Eine weitere Möglichkeit diese Abweichung zu erklären bietet die Patientenauswahl.

Für diese Untersuchung wurden Patienten des Universitätsklinikums des Saarlandes unabhängig von ihrer Dysgnathie ausgewählt. Patienten aller Angle Klassifikationen bildeten ein gemischtes Patientenkollektiv. Wie die Studie von Baccetti *et al.* (2007) zeigt, besteht aber bei Patienten mit Klasse III ein ausgeprägtes Unterkieferlängenwachstum bis zum sechsten Cvm - Stadium. Es ist also möglich, dass die Beurteilung des Wachstumsmaximums durch die Selektionskriterien der Patientenauswahl beeinflusst und / oder verfälscht wurden.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass das Unterkieferlängenwachstum bei Knaben in einem früheren Cvm – Entwicklungsstadium beginnt, bei Mädchen aber bis zu einem späteren Entwicklungsstadium anhält. Vergleicht man schließlich noch das Alter, in welchem ein Entwicklungsstadium bei Mädchen und Knaben auftrat, fällt auf, dass beide zum Zeitpunkt des Wachstumsmaximums gleich alt sind. Beide Geschlechter waren zum Zeitpunkt des ersten Wachstumsmaximums 11 Jahre, zum Zeitpunkt des zweiten 14 Jahre alt. Weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung dieses Sachverhaltes sind nötig da dies den bisherigen Erkenntnissen nach Björk widerspricht. Das Wachstumsmaximum sollte bei Mädchen mit ungefähr 12 Jahren zwei Jahre vor den Knaben mit ungefähr 14 Jahren stattfinden. Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

5.4.3 Vertikalentwicklung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe

Als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe wurde der Abstand zwischen Nasion und Menton und Spina nasalis anterior und Menton beurteilt. Der Punkt Spina nasalis anterior gilt dabei als besonders schwierig zu setzen (McClure *et al.*, 2005). Einen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse ist allerdings nicht zu erwarten, da als Referenz auch die Oberkieferbasis herangezogen wurde und Schwierigkeiten bei der Positionierung hauptsächlich in der Sagittalen auftreten. Die Untersuchung der anterioren Gesichtshöhe ergab für Knaben Wachstumsmaxima in zwei Stadien. Die Größenzunahme im Cvm – Stadium 2 und 5 war signifikant bzw. hochsignifikant. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Mädchen fiel auf, dass keine konkreten Aussagen zu einem Stadium möglich waren. Beide beurteilten Parameter veränderten sich im Verlauf signifikant. Die größte Zunahme der anterioren Gesichtshöhe erfolgte

bei Mädchen im Cvm – Stadium 4, da hier die Veränderung höchstsignifikant (NMe, $p < 0,000$) war. Als Maß für die Beurteilung der Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe wurden die Strecken SGo und CondGo verwendet. Schwierigkeiten bei der Zuordnung waren keine zu erwarten. Wie auch für die anteriore Gesichtshöhe konnten die Cvm – Stadien 2 und 5 als Stadien des Wachstumsmaximums bei Knaben definiert werden. Aufgrund der kontinuierlichen Größenzunahme der posterioren und anterioren Gesichtshöhe bei Mädchen konnte kein Wachstumsmaximum in einem Stadium definiert werden. Vergleicht man die Entwicklung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe stellt man fest, dass die posteriore Gesichtshöhe stärker zunimmt als die anteriore. Bei den Mädchen ist dieser Effekt geringer ausgeprägt als bei Knaben. Dies stützt den durch Pecora *et al.* (2008) sowie West & McNamara (1999) beschriebenen Effekt der anterioren Rotation des Unterkiefers bei Männern und der posterioren Rotation des Unterkiefers bei Frauen. Schon Hellmann (1933) schätzte das Wachstum in der Ramusgegend größer als im anterioren Bereich des Gesichtes ein. Untersucht wurde dies anhand von 705 Männern und 998 Frauen im Alter von 3 bis 22 Jahren. Es wurde außerdem festgestellt, dass das Gesichtswachstum in anteriore - posteriore Richtung sehr groß und weniger ausgeprägt in der vertikalen Richtung war. Dass die untere Gesichtshöhe bei Männern stärker zunimmt als bei Frauen, konnte auch durch Sinclair & Little (1985) bestätigt werden. Sie untersuchten Mädchen ($n = 32$) und Knaben ($n = 33$) zwischen 9 und 20 Jahren zu drei verschiedenen Zeitpunkten der Gebissentwicklung (T1 = Wechselgebiss (9 - 10 Jahre), T2 = frühe zweite Dentition (12 - 13 Jahre), T3 = späte zweite Dentition (18 - 20 Jahre)). Alle Probanden zeigten eine skelettale und dentale Klasse I ohne kieferorthopädische Behandlung. Bei der Auswertung ihrer Ergebnisse zeigte sich eine anteriore Rotation des Unterkiefers. Außerdem zeigte sich eine kontinuierliche Verkleinerung des Kieferwinkels, welche am ausgeprägtesten zwischen T2 und T3 war. Auch die anteriore Gesichtshöhe nahm von T1 - T3, vor allem aber von T2 - T3, zu. Die beobachteten Effekte waren bei Knaben wesentlich stärker ausgeprägt als bei Mädchen. Anteriore und posteriore Gesichtshöhe nahmen im Vergleich ähnlich stark zu. Vergleicht man Ihre Ergebnisse mit der vorliegenden Studie, ähneln sich die Ergebnisse. In der vorliegenden Studie nehmen die anteriore und posteriore Gesichtshöhe im Verhältnis zueinander etwa gleich stark zu. Jedoch war die Größenzunahme Sinclair und Little bei Knaben wesentlich größer als bei Mädchen. In der vorliegenden Studie ist dies nur bei der hinteren Gesichtshöhe

feststellbar. Die Höhenzunahme des vorderen Gesichtes war bei Mädchen und Knaben ähnlich.

5.4.4 Sagittalentwicklung Oberkiefer

Die Beurteilung der Sagittalentwicklung des Oberkiefers ist aufgrund der im FRS schwieriger zu setzenden Punkte problematisch. Durch Überlagerungen im FRS ist besonders das Setzen des Punktes Spa schwierig (Pecora *et al.*, 2008). Bei der Auswertung bestätigte sich dies. Für Knaben und Mädchen konnte keine Korrelation für die untersuchten Parameter festgestellt werden. Bei den Knaben vergrößerte sich die Strecke SpaSpp hochsignifikant von Cvm₄ zu Cvm₅. Die signifikanteste Veränderung für SNA erfolgte im Stadium Cvm₆. Allerdings erfolgte keine Größenzunahme sondern -abnahme. Es ist daher nicht möglich ein Cvm – Stadium für das Wachstumsmaximum bei Knaben zu bestimmen. Allgemein betrachtet scheint eine Längenzunahme der Maxilla bei Knaben postpubertär stattzufinden. Bei Mädchen konnten signifikante Veränderungen vor allem im Übergang von Cvm – Stadium 2 zu 3 festgestellt werden. Es erfolgte eine signifikante anteriore Verlagerung und Längenzunahme der Maxilla im Sinne einer Größenzunahme des Winkels SNA sowie der Strecke SpaSpp. Eine weitere signifikante Größenzunahme für SpaSpp konnte im Cvm – Stadium 5 festgestellt werden. Die Größenzunahme des Winkels SNA ist allerdings auch bei den Mädchen nicht als Wachstumsmaximum zu werten, da SNA in allen weiteren Entwicklungsstadien wieder kleiner geworden ist. Stahl-Castrillon *et al.* (2013) zeigten ähnliches in einer Untersuchung an unbehandelten Mädchen und Knaben im Alter von 6 - 17 Jahren. Bei der Untersuchung der sagittalen Position bzw. Längenzunahme der Maxilla fiel auf, dass sich der Winkel SNA kaum verändert. Es konnten keine signifikanten Veränderungen gefunden werden. Geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen Mädchen und Knaben traten nur im Alter von 16 Jahren für SpaSpp auf. Die Oberkieferlänge war bei Knaben signifikant länger als bei Mädchen. Auch in der vorliegenden Studie traf dies zum Zeitpunkt der signifikanten Größenzunahme zu.

5.4.5 Vertikalentwicklung und Wachstumsmuster

Als Maß zur Beurteilung der Vertikalentwicklung des Unterkiefers diene der Parameter ArGoMe. Dieser Winkel dient außerdem der Beschreibung des Wachstumsmusters einer Person. Je nach Ausprägung des Kieferwinkels kann dies in horizontales oder vertikales eingeteilt werden. Es ist wesentlich vom kondylären Wachstum sowie der Höhenzunahme des Alveolarkamms abhängig. Die Vertikalentwicklung der Mandibula erfolgt im Bereich des Korpus überwiegend durch die Entwicklung des Alveolarkamms mit der Zahnbildung und dem vertikalen Zahndrift (Dibbets & Müller, 2011). Zum Zeitpunkt der Geburt ist der Kieferwinkel groß und sehr flach. Mit zunehmendem Alter und Wachstum verkleinert er sich immer weiter. Dies spiegelt sich auch in einer Rotation des Unterkiefers entgegen des Uhrzeigersinns mit zunehmendem Alter wieder (Sinclair & Little, 1985; Stahl-Castrillon *et al.*, 2013). Dieser Effekt war in beiden Untersuchungen bei Männern ausgeprägter. Wie bereits beschrieben zeigten Sinclair und Little 1985 ebenfalls, dass sich der Kieferwinkel von den Zeitpunkten T1 bis T3 stetig verkleinert. Auch in der vorliegenden Studie verkleinerte sich der Kieferwinkel kontinuierlich zwischen T1 und T6. Der Effekt war bei Knaben mit zirka 6° wesentlich stärker ausgeprägt als bei Mädchen mit zirka 2°. Signifikant waren die Veränderungen aber nur bei Knaben zwischen Cvm₁ und Cvm₂. Die größte Veränderung des Wachstumsmusters scheint damit sehr früh im Rahmen der Halswirbelkörperreife in einem Alter von ca. 11 bis 12 Jahren bei Knaben stattzufinden. Da der Kieferwinkel bei Mädchen mit einer Abnahme von 1,8° nahezu stabil blieb, lässt sich kein Stadium benennen, in welchem das Wachstum möglicherweise am besten beeinflussbar ist. Ob eine weitere Verkleinerung des Kieferwinkels zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt, lässt sich aufgrund fehlender Daten nicht sagen. Liest man allerdings Studien wie die von Pecora *et al.* (2008) oder West und McNamara (1999) ist nicht davon auszugehen, dass eine weitere Verkleinerung des Kieferwinkels zu einem späteren Zeitpunkt bei Mädchen erfolgt. Um dies genauer beurteilen zu können, sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

5.5 Messfehler

Wie zahlreiche Studien zeigen, ist der Messfehler digital ausgewerteter Röntgenbilder gegenüber konventionell ausgewerteten nicht erhöht (Chen *et al.*, 2000; Santoro *et al.*, 2006; Bruntz, 2006; Sayinsu *et al.*, 2007). Ungenauigkeiten bei der Reproduktion sind lediglich bei den Messpunkten Artikulare, A-Punkt und Spina nasalis anterior zu erwarten (McClure *et al.*, 2005). Die Punkte Porion und Orbitale wurden jedoch gar nicht, der Punkt Artikulare nur für die Bestimmung des Winkels ArGoMe verwendet. Der A-Punkt sowie der Spa - Punkt wurden vor allem für die Beurteilung der Sagittalentwicklung des Oberkiefers benötigt. Die Verwendung präziser zu setzender Punkte könnte die Aussagekräftigkeit der Studie bezüglich des Oberkieferlängenwachstums und der Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe verbessern. Fehlerquellen beim Setzen der Punkte können Überlagerungseffekte oder Doppelkonturen darstellen. Sie treten aufgrund der Projektion einer dreidimensionalen Struktur in ein zweidimensionales Bild auf. Um den Fehler beim Setzen der Punkte zu quantifizieren wurde der Methodenfehler nach Dahlberg bestimmt. Dieser lag für alle Parameter stets deutlich unter 1, was für die Validität der Methode spricht. Es ist davon auszugehen, dass es bei der Positionierung der Messpunkte im FRS kaum Abweichungen zwischen den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten gab. Das Ergebnis ist somit als reproduzierbar und valide zu betrachten. Ähnliches wurde durch Pasciuti und Andere bestätigt. Pasciuti *et al.* (2013) untersuchte die Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden zur Bestimmung der skelettalen Reife. Für die hier verwendete Cvm – Methode konnte eine Übereinstimmung von 87,7% zwischen den verschiedenen Untersuchungszeitpunkt sowie eine 82%ige Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Untersuchern beobachtet werden.

5.6 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen für viele der erhobenen Parameter signifikante Veränderungen. Vor allem für das Unterkieferlängenwachstum konnten mit bisherigen Studienergebnissen korrelierende Stadien des Wachstumsmaximums definiert werden. Weniger aussagekräftige Ergebnisse konnten für die Sagittalentwicklung der Maxilla, die anteriore und die posteriore Gesichtshöhe gefunden werden.

Weiterhin scheint die Wachstumsperiode der Knaben im Vergleich zu Mädchen verzögert aufzutreten. Da nur 9/54 männliche aber 25/53 weibliche Probanden das Cvm – Stadium 6 erreichten, muss davon ausgegangen werden, dass das Kieferwachstum vor allem bei Knaben bis zu einem Alter von 18 Jahren nicht abgeschlossen ist. Ein Vergleich zwischen Knaben und Mädchen wurde bisher eher selten angestrebt. Untersuchungen in Bezug auf das puberale Wachstumsmaximum wurden zudem häufig mit gemischt männlichen und weiblichen Daten durchgeführt. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Daten der vorliegenden Studie genauer sind. Um sie zu festigen bzw. zu bestätigen sind weitere Untersuchungen mit einer angepassten Patientenkohorte notwendig. Die Einbeziehung von Patienten mit skelettaler Angle Klasse II und III sowie dementsprechender kieferorthopädischer Therapie kann zu Verfälschung der Ergebnisse geführt haben. Bei weiteren Untersuchungen sollten sie daher nicht einbezogen werden. Um den Verlauf der Entwicklung besser untersuchen zu können, sollten von jedem Patienten FRS aus jedem Cvm – Stadium vorliegen. Da es sich bei der Patientengruppe allerdings um Kinder und Jugendliche handelt ist die Anfertigung weiterer FRS außerhalb einer Behandlung mit den Anforderungen des Strahlenschutzes nicht zu vereinbaren.

Fazit:

Zur Reduktion der Strahlenbelastung von Kindern und Jugendlichen scheint die Analyse der Halswirbelkörper im Fernröntgenseitenbild im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik geeignet zu sein. Vor allem die Beurteilung der Frage nach noch zu erwartendem Wachstum, besonders des Unterkiefers, ist möglich. Die Beurteilung des Wachstumsmaximums ist allerdings ohne weitere diagnostische Hilfsmittel, z. B. einer Röntgenaufnahme der Hand, nicht möglich.

6 Literaturverzeichnis

1. Alcaraz M, Parra C, Martínez Beneyto Y, Velasco E, Canteras M, (2009) Is it true that the radiation dose to which patients are exposed has decreased with modern radiographic films? *Dento maxillo facial radiology* 38: 92–97
2. Alkhal HA, Wong RWK, Rabie ABM, (2008) Correlation between chronological age, cervical vertebral maturation and Fishman's skeletal maturity indicators in southern Chinese. *Angle Orthod* 78: 591–596
3. Anissi H, Geibel M, (2014) Intraoral Radiology in General Dental Practices - A Comparison of Digital and Film-Based X-Ray Systems with Regard to Radiation Protection and Dose Reduction. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*
4. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA, (2002) An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod* 72: 316–323
5. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA, (2005) The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics, *Seminars in Orthodontics* 11: 119–129
6. Baccetti T, Reyes BC, McNamara JA, (2007) Craniofacial changes in Class III malocclusion as related to skeletal and dental maturation. *Am J Orthod and Dentofacial orthop* 132: 171-178
7. Ball G, Woodside D, Tompson B, Hunter WS, Posluns J, (2011) Relationship between cervical vertebral maturation and mandibular growth. *Am J Orthod and dentofacial Orthop* 139: 455–461
8. Baptista R, Quaglio CL, Mourad LMEH, Hummel AD, Caetano CAC, Ortolani, Cristina LF, Pisa IT, (2012) A semi-automated method for bone age assessment using cervical vertebral maturation. *Angle Orthod* 82: 658–662
9. Bruntz LQ, (2006) A comparison of scanned lateral cephalograms with corresponding original radiographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130: 340-348
10. Bühl A, (2012) *SPSS 20 Einführung in die moderne Datenanalyse*, Pearson Deutschland GmbH, 13. überarbeitete Auflage
11. Björk A, Helm S, (1967) Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod* 37: 134–143

12. Bondevik O, (2012) Dentofacial changes in adults: a longitudinal cephalometric study in 22-33 and 33-43 year olds. *J Orofacial Orthop* 73: 277–288
13. Caldas MP, Ambrosano GMB, Haiter NF, (2007) New formula to objectively evaluate skeletal maturation using lateral cephalometric radiographs. *Braz oral Research* 21: 330–335
14. Chatzigianni A, Halazonetis DJ, (2009) Geometric morphometric evaluation of cervical vertebrae shape and its relationship to skeletal maturation. *Am J Orthod and dentofacial Orthop* 136: 481–489
15. Chen Y, Liu J, Xu T, Lin J, (2000) Comparison of Landmark Identification in traditional versus computer-aided digital Cephalometry. *Angle Orthod* 70: 387-392
16. Dahlberg G, (1940) Statistical methods for medical and biological students. Allen and Unwin, London
17. Dibbets J, Müller B, (2011) Postnatales Wachstum des Gesichtsschädels, Zahn-Mund-Kieferheilkunde Kieferorthopädie 2. Aufl.; Georg Thieme Verlag
18. Dörr W, (2010) Strahlenwirkung am Normalgewebe. *Schattauer* 49: 53–58
19. Enlow DH, (1982) Handbook of Facial Growth. Philadelphia: WB Saunders
20. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA, (2000) Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 118: 335–340
21. Fudalej P, Bollen AM, (2010) Effectiveness of the cervical vertebral maturation method to predict postpeak circumpubertal growth of craniofacial structures. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 137: 59–65
22. Gandini P, Mancini M, Andreani F, (2006) A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod* 76: 984–989
23. Greulich WW, Pyle S (1959) Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist, 2nd edn Stanford: Stanford University Press
24. Gu Y, McNamara JA, (2007) Mandibular growth changes and cervical vertebral maturation. a cephalometric implant study. *Angle Orthod* 77: 947–953

25. Hall P, (2009) Is there a place for quantitative risk assessment? *J Radiol Prot* 29: A171-A184
26. Hassel B, Farman A, (1995) Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 107: 58–66
27. Hellmann M, (1932) An introduction to Growth of the Human Face from Infancy to adulthood. *Int J Orthod Oral Surg* 18: 777-798
28. Hellsing E, (1991) Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year-old children. *Acta odontologica Scandinavica*, 49: 207–213
29. Hirschfelder U, Boulouchou O, Fleischer-Peters A, (1995) Die Bedeutung der Handröntgenaufnahme für die Behandlung skelettaler Dysgnathien. *Fortschr Kieferorthop* 56: 84–95
30. Jablonski S, (1992) *Dictionary of Dentistry*. Krieger Publishing Company
31. Jackson S, (2002) Sensing and repairing DNA double-strand breaks. *Carcinogenesis* 23: 687–696.
32. Kahl-Nieke B, (2009) Einführung in die Kieferorthopädie, Kap. 15, Deutscher Zahnärzteverlag, 3. Aufl.
33. Korkmaz S et al., (2007) An evaluation of the errors in cephalometric measurements on scanned cephalometric images and conventional tracings. *Eur J Orthod* 29: 105-108
34. Martin C, Sutton DG, West CM, Wright EG, (2009) The radiobiology / radiation protection interface in healthcare. *J Radiol Prot* 29: A1-A20
35. McClure SR, Sadowsky PL, Ferreira A, Jacobson A, (2005) Reliability of Digital Versus Conventional Cephalometric Radiology: A Comparative Evaluation of Landmark Identification Error. *Semin Orthod* 11: 98–110
36. Mellion Z, Behrents RG, Johnston LE, (2013) The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod and dentofacial Orthop* 143: 845–854
37. Metsälä E, Henner A, Ekholm M, (2014) Quality assurance in digital dental imaging: a systematic review. *Acta odontologica Scandinavica* 72: 362–371
38. Morgan W, Sowa M, (2009) Non-targeted effects of ionizing radiation: implications for risk assessment and the radiation dose response profile. *Health Phys* 97: 426-432

39. Miethke RR, (1989) Zur Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Referenzpunkte. *Prakt Kieferorthop* 3: 107-122
40. Mito T, Sato K, Mitani H, (2002) Cervical vertebral bone age in girls. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 122: 380–385
41. Nanda RS & Ghosh J, (1995) Longitudinal growth changes in the sagittal relationship of maxilla and mandible. *Am J of Orthod and Dentofacial Orthop*, 107: 79–90
42. Nestman TS, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE, (2011) Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: poor reproducibility. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 140: 182–188
43. Nötzel F, Schultz C, Hartung M, (2007) Fernröntgenseitenbild-Analyse, Deutscher Zahnärzte Verlag
44. Ochoa BK, Nanda RS, (2004) Comparison of maxillary and mandibular growth. *Am J of Orthod and Dentofacial Orthop*, 125: 148–159
45. Okano T, Sur J, (2010) Radiation dose and protection in dentistry. *Japanese Dental Science Review* 46: 112–121
46. Panherz H, Szyska M, (2000) Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife - Eine Reliabilitäts- und Validitätsuntersuchung. *IOK* 32: 151–161
47. Pasciuti E, Franchi L, Baccetti T, Milani S, Farronato G, (2013) Comparison of three methods to assess individual skeletal maturity. *Fortschr Kieferorthop* 74: 397–408
48. Pasler FA, (2003) Zahnärztliche Radiologie. 4.Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
49. Pecora NG, Baccetti J, McNamara JA, (2008) The aging craniofacial complex: a longitudinal cephalometric study from late adolescence to late adulthood. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 134: 496–505
50. Preston MS, White SC, (1990) Brain and salivary gland tumors related to a prior dental radiography: implications for current practice, *J Am Dent Assoc* 120: 151-158
51. Rother U, (2010) Unterlagen zum Kurs Aktualisierung der Fachkunde im Strahlenschutz gemäß § 18a RöV für Zahnärzte, Ärztekammer des Saarlandes, Abteilung Zahnärzte

52. Ribeiro DA, Sannomiya EK, Pozzi R, Miranda SR & Angelieri F, (2011) Cellular death but not genetic damage in oral mucosa cells after exposure to digital lateral radiography. *Clinical oral investigations* 15: 357–360
53. San Román P, Palma JC, Oteo MD & Nevado E, (2002) Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *European J Orthod* 24: 303–311
54. Santoro M, Jarjoura K, Cangialosi TJ, (2006) Accuracy of digital and analogue cephalometric measurements assessed with the sandwich technique. *Am J Orthod and Dentofacial Orthoped* 129: 345–351
55. Sayinsu K, (2007) An evaluation of the errors in cephalometric measurements on scanned cephalometric images and conventional tracings. *Eur J Orthod* 29: 105-108
56. Schopf P, (1984) Die Bedeutung des skelettalen und dentalen Alters für die Auswahl des kieferorthopädischen Behandlungssystems. *Fortschr Kieferorthop* 45: 24–32
57. Sinclair PM, Little RM, (1985) Dentofacial maturation of untreated normals. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 88: 146–156.
58. Sperber GH, (1992) Embryologie des Kopfes. Quintessenz Verlags GmbH, 4 Auflage
59. Stiehl J, Müller B, Dibbets J, (2009) The development of the cervical vertebrae as an indicator of skeletal maturity: comparison with the classic method of hand-wrist radiograph. *Fortschr Kieferorthop* 70: 327–335
60. Thiemann HH, Nietz I, (1991) Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter. Georg Thieme Verlag Leipzig, 2. überarbeitete Auflage
61. Tubiana M, (2000) Radiation risks in perspective : radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat Environ Biophys* 39: 3–16
62. Uysal T, Ramoglu S, Basciftci F, Sari Z, (2006) Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: is there a relationship? *Am J Orthod and Dentofacial Orthop*, 130: 622–628
63. Visser H, Rödig T, Hermann KP, (2001) Dose reduction by direct digital cephalometric radiography. *Angle Orthod* 71: 159–163
64. Wakoh M, Kuroyanagi K, (2001) Digital imaging modalities for dental practice. *Bull Tokyo dent Coll* 42: 1–14

65. West KS, McNamara JA, (1999) Changes in the craniofacial complex from adolescence to midadulthood: a cephalometric study. Am J Orthod and Dentofacial Orthoped 115: 521–532
66. White SC, Mallya SM, (2012) Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene. Australian dental journal 57: 2–8
67. Wong RWK, Alkhal H, Rabie BM, (2009) Use of cervical vertebral maturation to determine skeletal age. Am J Orthod and Dentofacial Orthop 136: 484.e1–6

Internetseiten:

Bundesamt für Strahlenschutz, (2014): www.bfs.de

7 Publikation / Danksagung

7.1 Publikation

Die Ergebnisse der Studie wurden im Abstractband der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie anlässlich der Jahrestagungen 2013 und 2014 publiziert:

Gänßler P, Thieme F, Lisson J (2013) Reifestadien der Halswirbelkörper in Korrelation zum Kieferwachstum bei männlichen Heranwachsenden. Jahrestagung der DgKfo 2013

Thieme F, Gänßler P, Lisson J (2014) Reifestadien der Halswirbelkörper in Korrelation zum Kieferwachstum bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden. Jahrestagung der DgKfo 2014

Hentzschel A, Thieme F, Gänßler P, Lisson J (2014) Reifestadien der Halswirbelkörper in Korrelation zum Kieferwachstum bei weiblichen Heranwachsenden. Jahrestagung der DgKfo 2014

Weiterhin erfolgte die Teilnahme am BZÄK / DGZMK / Dentsply - Hochschulförderpreis im Rahmen des Deutschen Zahnärztetages 2014:

Thieme F, Lisson J (2014) Halswirbelkörperreifestadien in Korrelation zum Kieferwachstum. Dentsply Hochschulförderpreis 2014, Deutscher Zahnärztetag 2014

7.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Themas, seine fachliche Beratung, die stets offene Tür und die freundliche und motivierende Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Frau Dr. Petra Gänßler danke ich für die freundliche Betreuung während der Einarbeitung in die Thematik, das gemeinsame brainstorming und die Idee zu dieser Arbeit.

Bei Professor Dr. Stefan Wagenpfeil bedanke ich mich für die biometrische Beratung und Hilfestellung bei statischen Fragen und Problemen.

Bei meinen Kolleginnen Constanze, Annika und Christina möchte ich mich für die Hilfe bei der Suche nach Fehlerteufeln bedanken.

Schließlich danke ich auch meinen Eltern, meiner Schwester und Herrn Markus Georg, die mich auf meinem Berufsweg und der Durchführung dieser Arbeit stets unterstützt haben.

8 Anhang

8.1 Kephalometrische Analyse - Ergebnisse

8.1.1 Alter

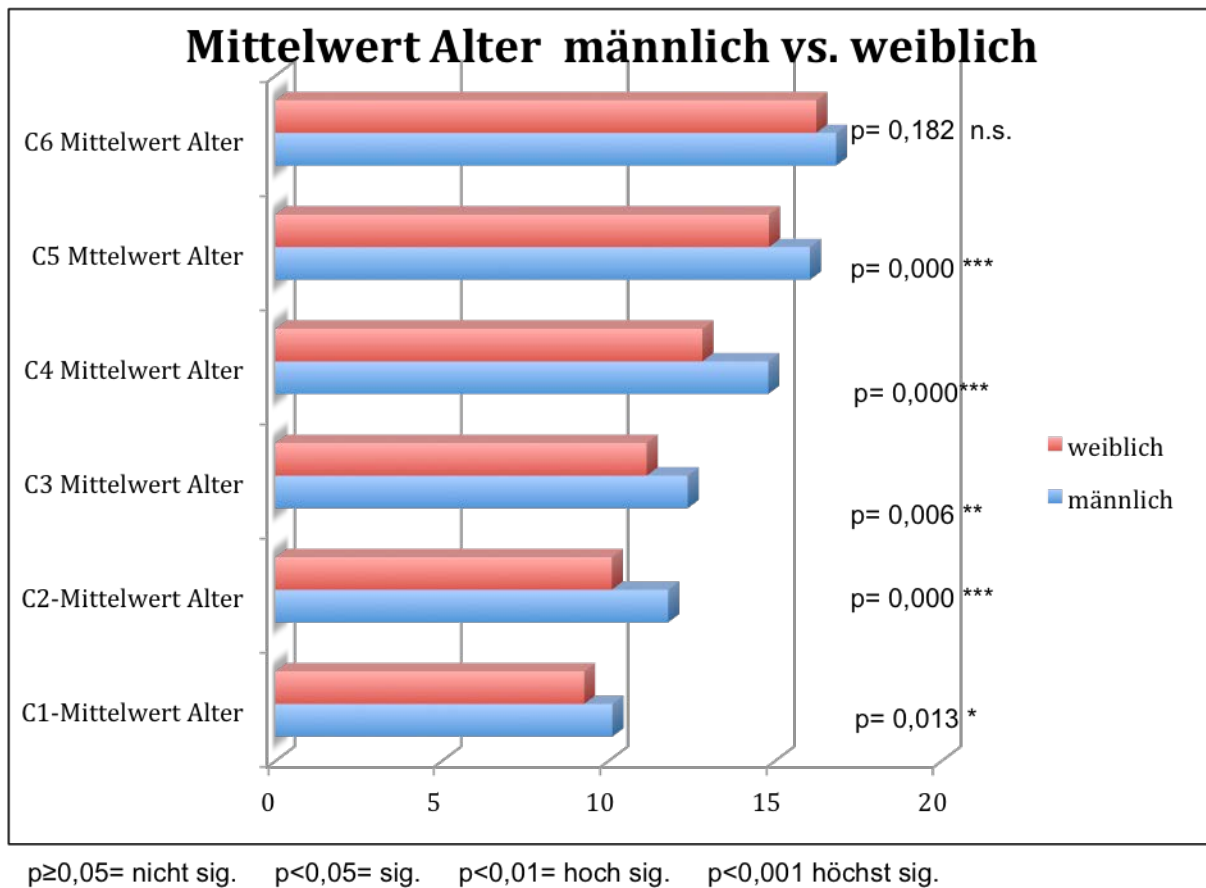


Abb.22: Darstellung des durchschnittlichen Alters von Mädchen und Knaben in einem Cvm- Stadium mit Signifikanz. Baue Graphen zeigen die Ergebnisse der Knaben, rote die der Mädchen.

8.1.2 Basal sagittale und basal vertikale Parameter

| Cond – Gn (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|----------------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 96,7 | 107,7 | 89,0 | 4,936 |
| | Cvm ₂ | 99,4 | 109,0 | 91,7 | 4,354 |
| | Cvm ₃ | 101,9 | 111,2 | 90,2 | 4,519 |
| | Cvm ₄ | 103,3 | 116,8 | 93,6 | 5,546 |
| | Cvm ₅ | 107,5 | 120,9 | 97,5 | 5,242 |
| | Cvm ₆ | 109,3 | 118,6 | 99,2 | 5,527 |
| männlich | Cvm ₁ | 102,0 | 115,4 | 89,6 | 5,329 |
| | Cvm ₂ | 107,0 | 174,5 | 92,6 | 14,140 |
| | Cvm ₃ | 107,2 | 117,7 | 95,6 | 5,688 |
| | Cvm ₄ | 111,2 | 122,9 | 99,4 | 5,457 |
| | Cvm ₅ | 114,8 | 121,9 | 103,6 | 4,474 |
| | Cvm ₆ | 115,7 | 129,8 | 108,9 | 5,774 |

Tabelle 7: Deskriptive Statistik für den Parameter Condylon – Gnathion als Maß für das Unterkieferlängenwachstum bei Mädchen und Knaben.

| Go – Gn (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|--------------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 64,6 | 72,5 | 54,9 | 3,858 |
| | Cvm ₂ | 64,4 | 72,8 | 56,1 | 3,451 |
| | Cvm ₃ | 67,1 | 74,3 | 62,0 | 3,469 |
| | Cvm ₄ | 67,8 | 75,5 | 61,1 | 3,273 |
| | Cvm ₅ | 71,0 | 77,2 | 61,5 | 3,184 |
| | Cvm ₆ | 71,0 | 78,9 | 65,1 | 3,351 |
| männlich | Cvm ₁ | 67,6 | 76,4 | 58,4 | 3,817 |
| | Cvm ₂ | 71,3 | 111,8 | 60,1 | 9,046 |
| | Cvm ₃ | 70,7 | 81,8 | 63,2 | 4,559 |
| | Cvm ₄ | 72,7 | 84,0 | 63,9 | 4,520 |
| | Cvm ₅ | 74,1 | 82,5 | 67,6 | 3,892 |
| | Cvm ₆ | 74,7 | 80,0 | 71,6 | 2,469 |

Tabelle 8: Deskriptive Statistik für den Parameter Gonion – Gnathion als Maß für das Unterkieferlängenwachstum bei Mädchen und Knaben

| Go – Me (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|--------------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 59,3 | 67,0 | 49,2 | 3,645 |
| | Cvm ₂ | 59,3 | 69,3 | 50,3 | 3,688 |
| | Cvm ₃ | 62,1 | 68,5 | 57,0 | 3,233 |
| | Cvm ₄ | 62,9 | 70,1 | 55,0 | 3,373 |
| | Cvm ₅ | 66,1 | 72,9 | 55,9 | 3,305 |
| | Cvm ₆ | 66,1 | 74,3 | 60,5 | 3,600 |
| männlich | Cvm ₁ | 62,8 | 72,2 | 54,9 | 3,921 |
| | Cvm ₂ | 66,5 | 102,9 | 55,7 | 8,185 |
| | Cvm ₃ | 66,2 | 77,0 | 59,3 | 4,339 |
| | Cvm ₄ | 68,7 | 79,2 | 60,5 | 4,561 |
| | Cvm ₅ | 69,6 | 77,4 | 63,1 | 3,950 |
| | Cvm ₆ | 70,5 | 75,7 | 67,3 | 2,439 |

Tabelle 9: Deskriptive Statistik für den Parameter Gonion – Menton als Maß für das Unterkieferlängenwachstum bei Mädchen und Knaben

| S – Gn (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|-------------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 103,7 | 116,7 | 92,2 | 5,532 |
| | Cvm ₂ | 105,9 | 117,0 | 95,7 | 4,965 |
| | Cvm ₃ | 108,8 | 119,1 | 97,2 | 4,386 |
| | Cvm ₄ | 110,1 | 123,9 | 100,2 | 5,130 |
| | Cvm ₅ | 114,3 | 132,4 | 100,8 | 6,303 |
| | Cvm ₆ | 116,5 | 126,7 | 104,7 | 6,110 |
| männlich | Cvm ₁ | 109,2 | 119,9 | 97,1 | 5,256 |
| | Cvm ₂ | 114,4 | 182,9 | 98,5 | 14,302 |
| | Cvm ₃ | 114,5 | 124,9 | 102,0 | 5,526 |
| | Cvm ₄ | 118,2 | 132,4 | 103,7 | 6,800 |
| | Cvm ₅ | 122,6 | 133,4 | 108,7 | 6,105 |
| | Cvm ₆ | 122,9 | 131,6 | 114,0 | 6,465 |

Tabelle 10: Deskriptive Statistik für den Parameter Sella – Gnathion als Maß für das Unterkieferlängenwachstum bei Mädchen und Knaben

| SNB (in °) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|---------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 75,5 | 83,5 | 68,5 | 3,368 |
| | Cvm ₂ | 75,1 | 79,1 | 69,3 | 2,927 |
| | Cvm ₃ | 76,9 | 83,2 | 69,6 | 2,822 |
| | Cvm ₄ | 75,4 | 83,6 | 67,9 | 3,663 |
| | Cvm ₅ | 76,5 | 85,9 | 69,3 | 3,722 |
| | Cvm ₆ | 76,3 | 82,4 | 68,5 | 3,918 |
| männlich | Cvm ₁ | 76,6 | 85,5 | 67,1 | 3,720 |
| | Cvm ₂ | 77,0 | 83,7 | 70,1 | 3,531 |
| | Cvm ₃ | 77,6 | 84,1 | 67,1 | 3,747 |
| | Cvm ₄ | 78,6 | 86,6 | 71,0 | 3,547 |
| | Cvm ₅ | 78,4 | 83,1 | 72,9 | 3,016 |
| | Cvm ₆ | 76,7 | 81,7 | 71,7 | 2,988 |

Tabelle 11: Deskriptive Statistik für den Parameter SNB als Maß für das Unterkieferlängenwachstum bei Mädchen und Knaben

| N- Me (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|--------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 101,2 | 113,3 | 90,6 | 5,476 |
| | Cvm₂ | 103,6 | 109,9 | 93,3 | 4,328 |
| | Cvm₃ | 105,2 | 115,9 | 91,5 | 4,982 |
| | Cvm₄ | 107,8 | 119,5 | 93,2 | 5,902 |
| | Cvm₅ | 110,9 | 129,0 | 96,0 | 6,433 |
| | Cvm₆ | 113,4 | 125,7 | 100,1 | 6,799 |
| männlich | Cvm₁ | 105,4 | 116,6 | 91,9 | 5,254 |
| | Cvm₂ | 110,4 | 171,2 | 99,0 | 13,172 |
| | Cvm₃ | 109,4 | 119,3 | 98,2 | 6,044 |
| | Cvm₄ | 112,5 | 144,1 | 98,7 | 8,795 |
| | Cvm₅ | 116,6 | 129,2 | 97,5 | 8,183 |
| | Cvm₆ | 117,8 | 126,8 | 99,0 | 7,426 |

Tabelle 12: Deskriptive Statistik für den Parameter Nasion – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Mädchen und Knaben

| Spa- Me (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 57,1 | 64,5 | 49,9 | 3,755 |
| | Cvm₂ | 58,3 | 62,5 | 49,0 | 3,415 |
| | Cvm₃ | 59,7 | 66,7 | 51,8 | 3,965 |
| | Cvm₄ | 60,5 | 69,9 | 51,1 | 4,518 |
| | Cvm₅ | 62,8 | 72,5 | 51,9 | 4,922 |
| | Cvm₆ | 64,6 | 75,1 | 54,5 | 5,547 |
| männlich | Cvm₁ | 60,3 | 69,8 | 53,5 | 4,208 |
| | Cvm₂ | 62,8 | 100,7 | 55,1 | 8,526 |
| | Cvm₃ | 61,5 | 71,5 | 54,9 | 4,441 |
| | Cvm₄ | 62,2 | 75,3 | 50,2 | 6,198 |
| | Cvm₅ | 66,0 | 76,2 | 50,8 | 6,392 |
| | Cvm₆ | 67,5 | 75,0 | 51,4 | 6,380 |

Tabelle 13: deskriptive Statistik für den Parameter Spina nasalis anterior – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Mädchen und Knaben

| S - Go (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|---------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 63,1 | 72,0 | 57,5 | 3,649 |
| | Cvm₂ | 65,7 | 74,6 | 59,4 | 3,884 |
| | Cvm₃ | 67,8 | 77,2 | 61,1 | 4,016 |
| | Cvm₄ | 70,3 | 78,9 | 61,8 | 4,179 |
| | Cvm₅ | 73,5 | 88,8 | 66,3 | 4,870 |
| | Cvm₆ | 74,9 | 86,0 | 62,9 | 5,594 |
| männlich | Cvm₁ | 66,9 | 81,6 | 55,7 | 5,087 |
| | Cvm₂ | 72,2 | 112,4 | 62,4 | 9,572 |
| | Cvm₃ | 72,8 | 87,0 | 62,0 | 5,907 |
| | Cvm₄ | 75,4 | 91,3 | 62,3 | 7,096 |
| | Cvm₅ | 81,6 | 93,1 | 73,5 | 4,931 |
| | Cvm₆ | 81,9 | 87,9 | 74,3 | 4,400 |

Tabelle 14: Deskriptive Statistik für den Parameter Sella - Gonion Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Mädchen und Knaben

| Cond - Go (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 48,2 | 54,6 | 43,1 | 2,827 |
| | Cvm₂ | 51,2 | 64,7 | 44,3 | 4,446 |
| | Cvm₃ | 51,8 | 58,5 | 45,3 | 3,573 |
| | Cvm₄ | 53,8 | 62,6 | 46,6 | 4,076 |
| | Cvm₅ | 56,2 | 65,2 | 49,4 | 3,680 |
| | Cvm₆ | 57,6 | 68,1 | 47,2 | 4,582 |
| männlich | Cvm₁ | 50,6 | 62,4 | 43,2 | 3,895 |
| | Cvm₂ | 54,6 | 91,6 | 46,9 | 8,443 |
| | Cvm₃ | 55,3 | 66,6 | 44,8 | 5,149 |
| | Cvm₄ | 57,8 | 67,8 | 47,9 | 5,152 |
| | Cvm₅ | 62,6 | 70,1 | 57,1 | 3,242 |
| | Cvm₆ | 63,3 | 72,3 | 56,9 | 4,030 |

Tabelle 15: Deskriptive Statistik für den Parameter Condylon – Gonion Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Mädchen und Knaben

| Spa - Spp (in mm) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 47,8 | 59,8 | 43,9 | 3,460 |
| | Cvm₂ | 47,6 | 53,5 | 43,3 | 2,567 |
| | Cvm₃ | 49,2 | 56,4 | 40,8 | 3,018 |
| | Cvm₄ | 50,3 | 54,7 | 43,7 | 3,033 |
| | Cvm₅ | 51,4 | 58,0 | 41,0 | 3,329 |
| | Cvm₆ | 51,6 | 56,7 | 44,0 | 3,415 |
| männlich | Cvm₁ | 49,6 | 58,2 | 43,8 | 3,166 |
| | Cvm₂ | 52,0 | 87,8 | 44,4 | 7,349 |
| | Cvm₃ | 50,7 | 58,3 | 44,9 | 2,962 |
| | Cvm₄ | 51,8 | 59,3 | 44,9 | 3,082 |
| | Cvm₅ | 53,9 | 59,1 | 49,4 | 2,971 |
| | Cvm₆ | 54,4 | 58,7 | 47,5 | 3,525 |

Tabelle 16: Deskriptive Statistik für den Parameter Spina nasalis anterior - Spina nasalis posterior als Maß für die Sagittalentwicklung des Oberkiefers bei Mädchen und Knaben

| SNA (in °) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|-----------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| weiblich | Cvm₁ | 79,4 | 85,8 | 74,0 | 3,099 |
| | Cvm₂ | 77,6 | 82,2 | 73,4 | 2,763 |
| | Cvm₃ | 79,4 | 86,0 | 72,3 | 3,440 |
| | Cvm₄ | 78,5 | 87,9 | 72,9 | 3,636 |
| | Cvm₅ | 79,1 | 88,1 | 72,2 | 3,622 |
| | Cvm₆ | 79,3 | 86,3 | 72,3 | 3,785 |
| männlich | Cvm₁ | 79,3 | 91,6 | 70,8 | 4,437 |
| | Cvm₂ | 80,2 | 89,7 | 72,2 | 4,147 |
| | Cvm₃ | 80,9 | 90,0 | 72,3 | 4,268 |
| | Cvm₄ | 81,0 | 87,1 | 71,7 | 3,486 |
| | Cvm₅ | 80,8 | 87,0 | 74,4 | 3,329 |
| | Cvm₆ | 78,9 | 84,0 | 73,8 | 3,518 |

Tabelle 17: Deskriptive Statistik für den Parameter SNA als Maß für die Sagittalentwicklung des Oberkiefers bei Mädchen und Knaben

| ArGoMe (in °) | | Mittelwert | Maximalwert | Minimalwert | Standardabweichung |
|------------------|------------------|------------|-------------|-------------|--------------------|
| weiblich | Cvm ₁ | 125,1 | 137,2 | 117,3 | 5,161 |
| | Cvm ₂ | 125,7 | 134,2 | 114,8 | 5,039 |
| | Cvm ₃ | 125,2 | 135,1 | 112,5 | 6,303 |
| | Cvm ₄ | 123,4 | 139,9 | 112,0 | 6,375 |
| | Cvm ₅ | 121,9 | 136,8 | 112,6 | 5,575 |
| | Cvm ₆ | 123,3 | 134,5 | 110,1 | 6,512 |
| männlich | Cvm ₁ | 126,2 | 139,7 | 109,3 | 7,131 |
| | Cvm ₂ | 123,4 | 134,2 | 112,9 | 5,936 |
| | Cvm ₃ | 123,8 | 133,1 | 111,1 | 5,636 |
| | Cvm ₄ | 123,6 | 140,7 | 106,7 | 6,319 |
| | Cvm ₅ | 121,4 | 137,6 | 108,7 | 6,027 |
| | Cvm ₆ | 120,5 | 127,6 | 114,0 | 4,742 |

Tabelle 18: Deskriptive Statistik für den Parameter Artikulare Gonion Menton als Maß für die Vertikalentwicklung des Unterkiefers bei Mädchen und Knaben

8.1.3 Unterkieferlängenwachstum

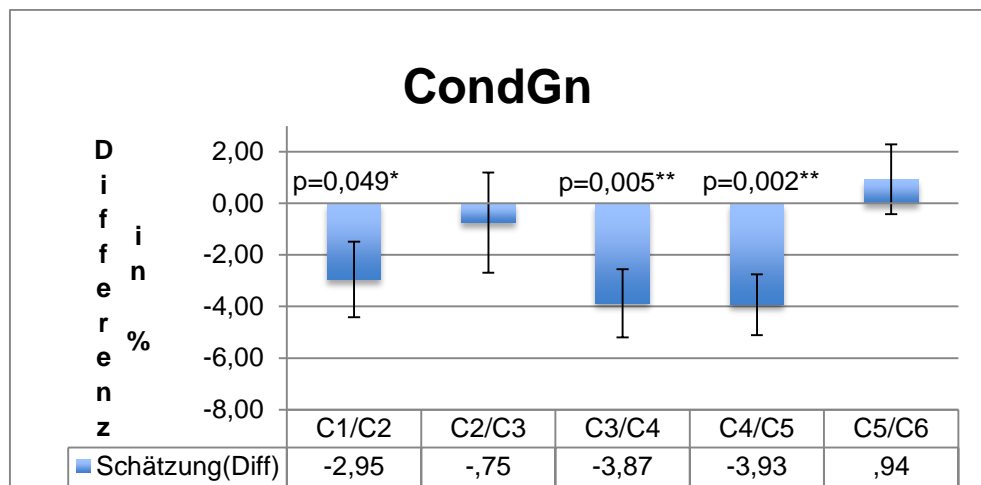


Abb.23: Veränderung des Parameter Condylion - Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Knaben⁴

⁴ signifikant *; hoch signifikant**; höchst signifikant***, Die Ergebnisse der Balken ohne zusätzliche Bezeichnung durch einen p-Wert waren nicht signifikant

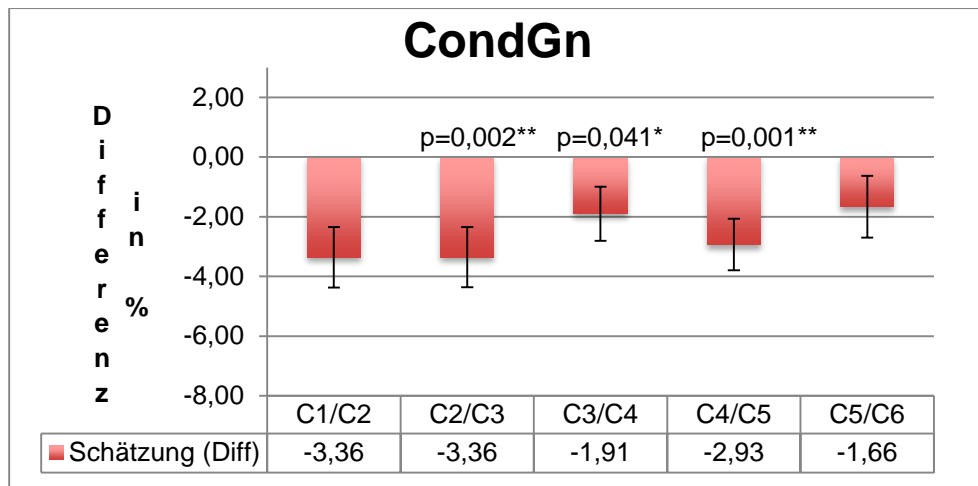


Abb. 24: Veränderung des Parameter Condylon – Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Mädchen

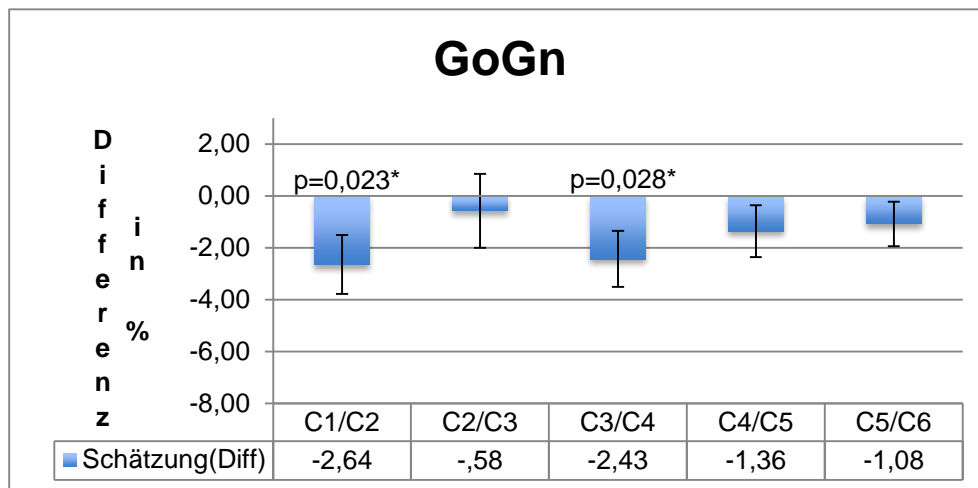


Abb. 25: Veränderung des Parameters Gonion – Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Knaben

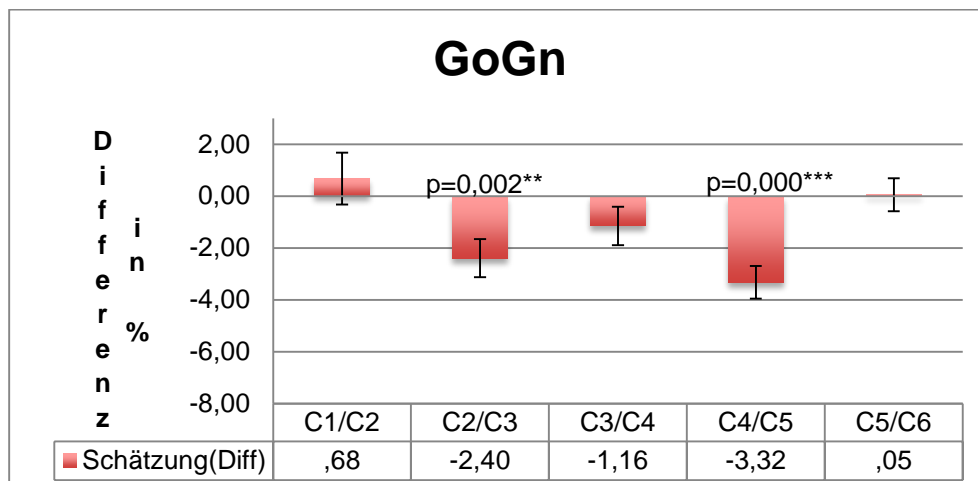


Abb. 26: Veränderung des Parameters Gonion- Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Mädchen

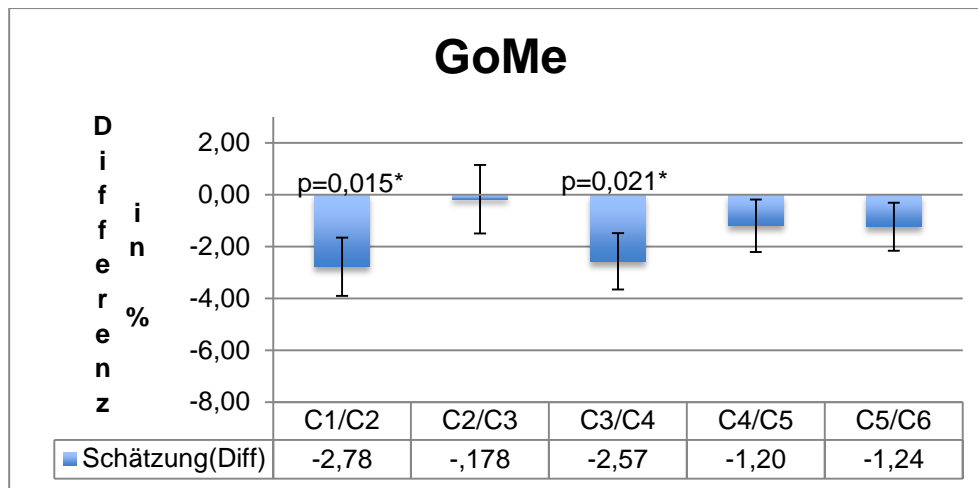


Abb. 27: Veränderung des Parameters Gonion – Menton als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Knaben

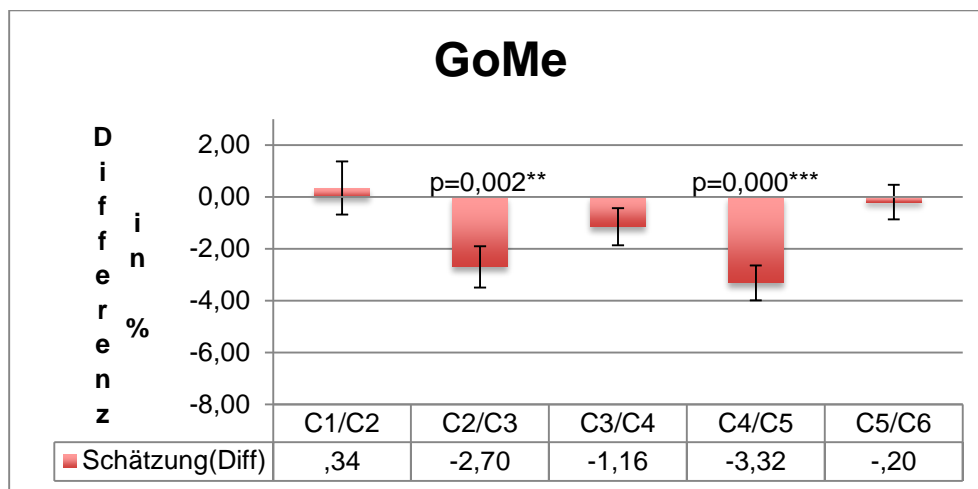


Abb. 28: Veränderung des Parameters Gonion – Menton als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Mädchen

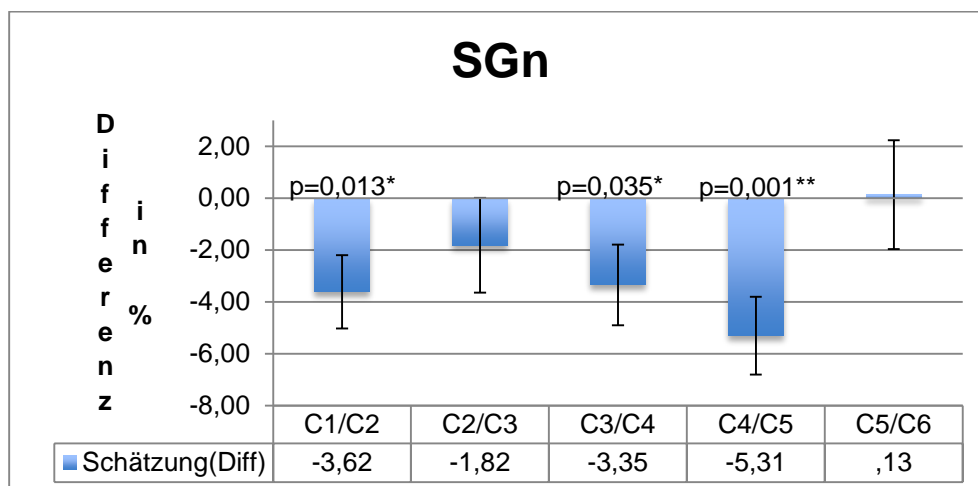


Abb. 29: Veränderung des Parameters Sella – Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Knaben

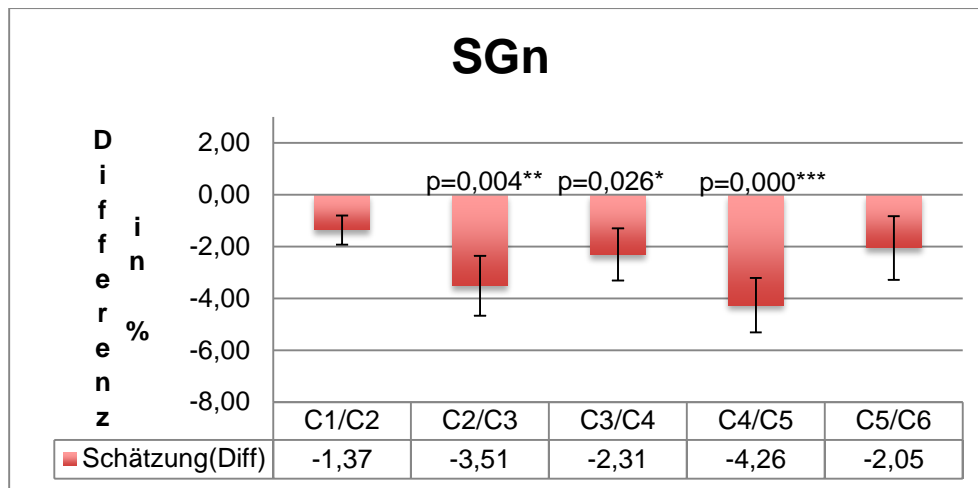


Abb. 30: Veränderung des Parameters Sella – Gnathion als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Mädchen

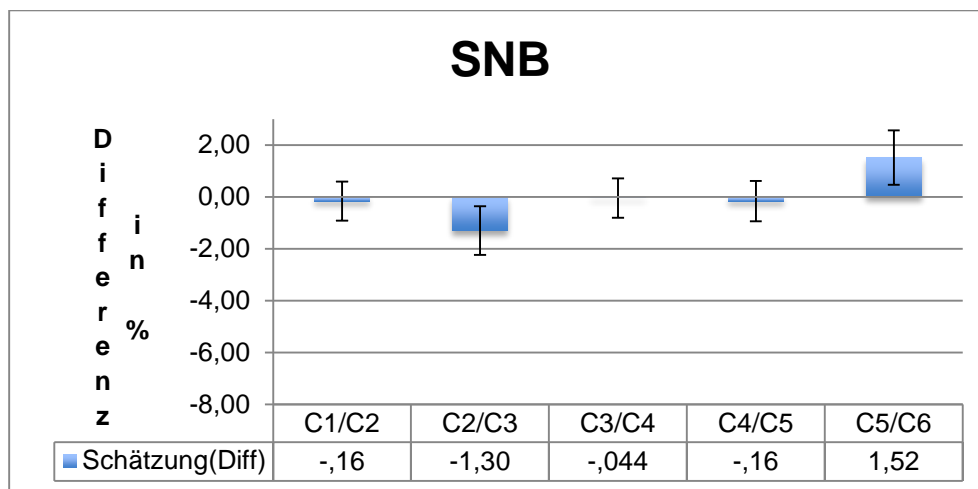


Abb. 31: Veränderung des Parameters SNB als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Knaben

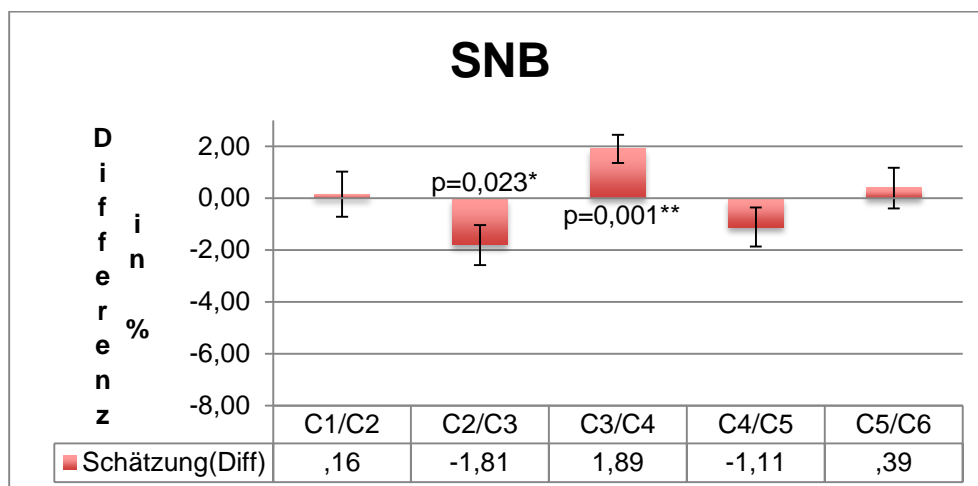


Abb. 32: Veränderungen des Parameters SNB als Maß für das Längenwachstum des Unterkiefers bei Mädchen

8.1.4 Anteriore Gesichtshöhe

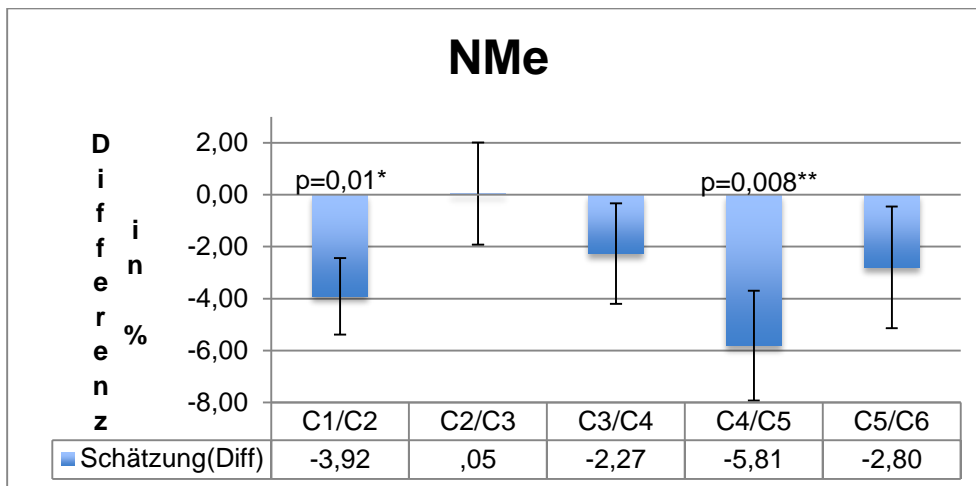


Abb. 33: Veränderung der Strecke Nasion – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Knaben

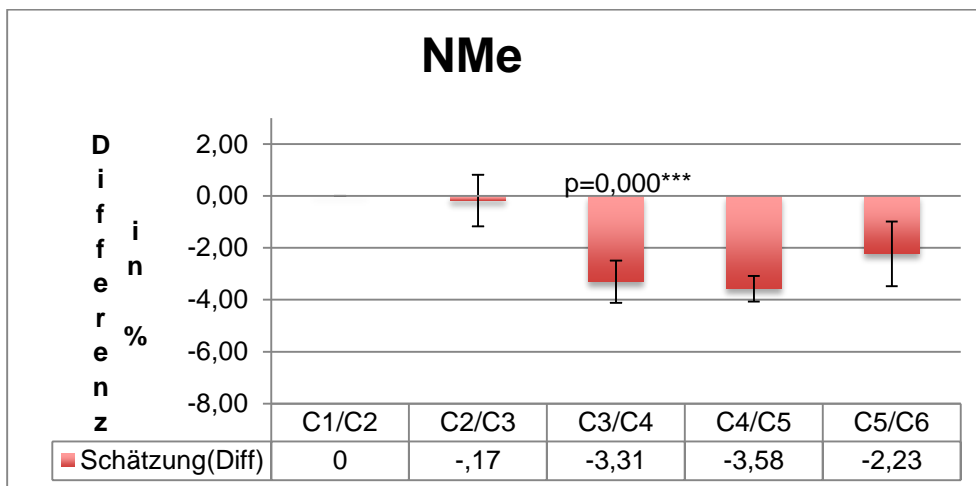


Abb. 34: Veränderung der Strecke Nasion – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Mädchen

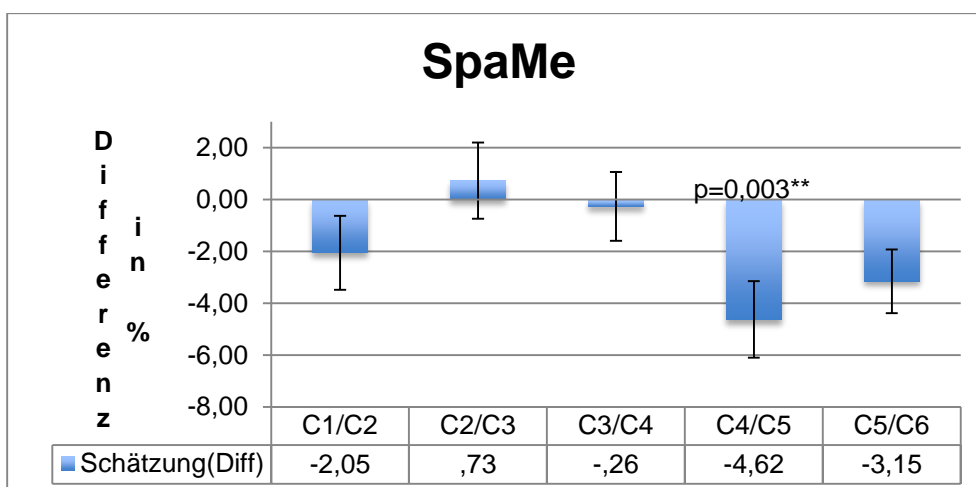


Abb. 35: Veränderung der Strecke Spina nasalis anterior – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Knaben

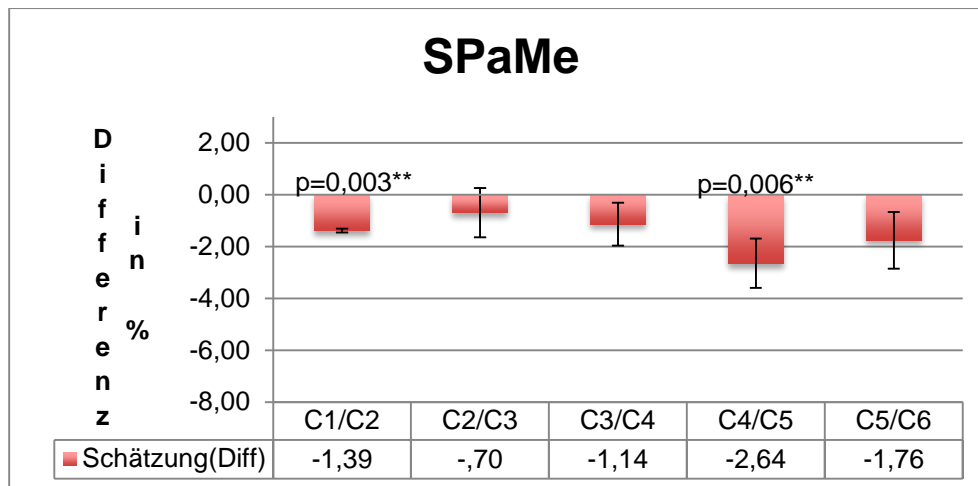


Abb. 36: Veränderung der Strecke Spina nasalis anterior – Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der anterioren Gesichtshöhe bei Mädchen

8.1.5 Posteriore Gesichtshöhe

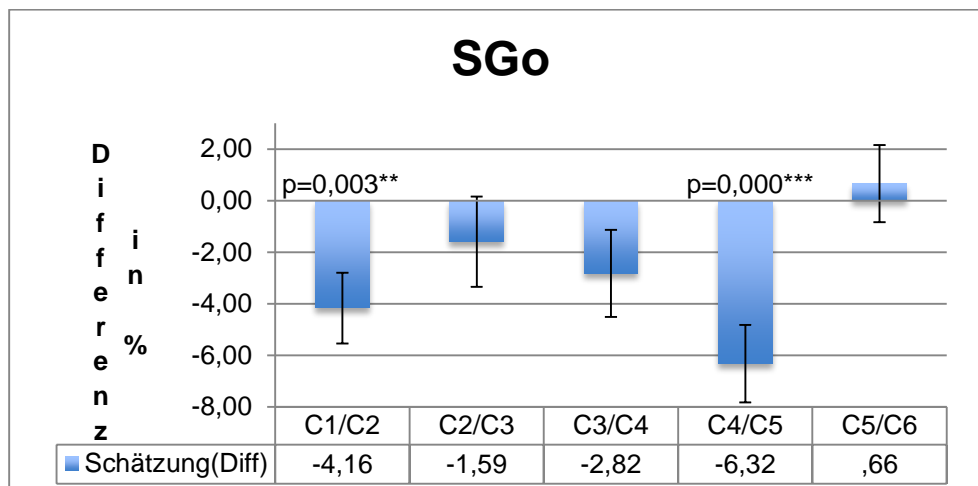


Abb. 37: Veränderung der Strecke Sella - Gonion als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Knaben

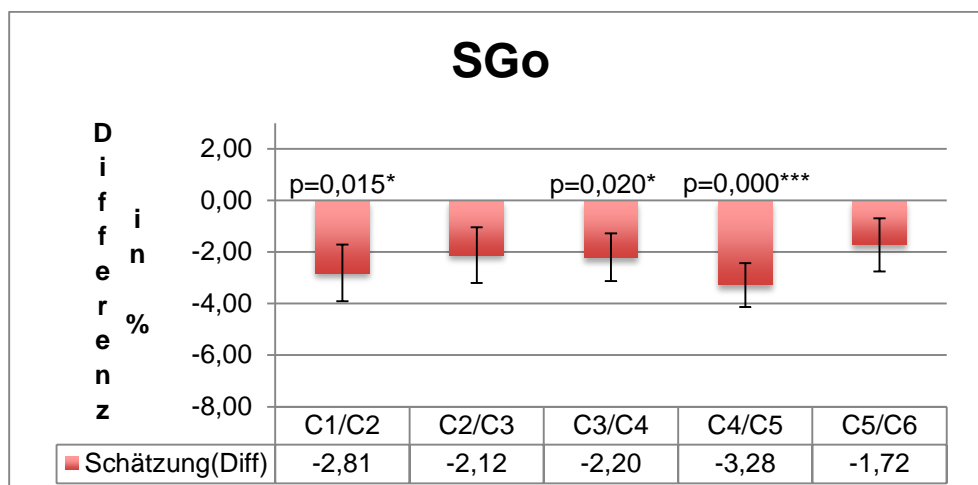


Abb. 38: Veränderung der Strecke Sella – Gonion als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Mädchen

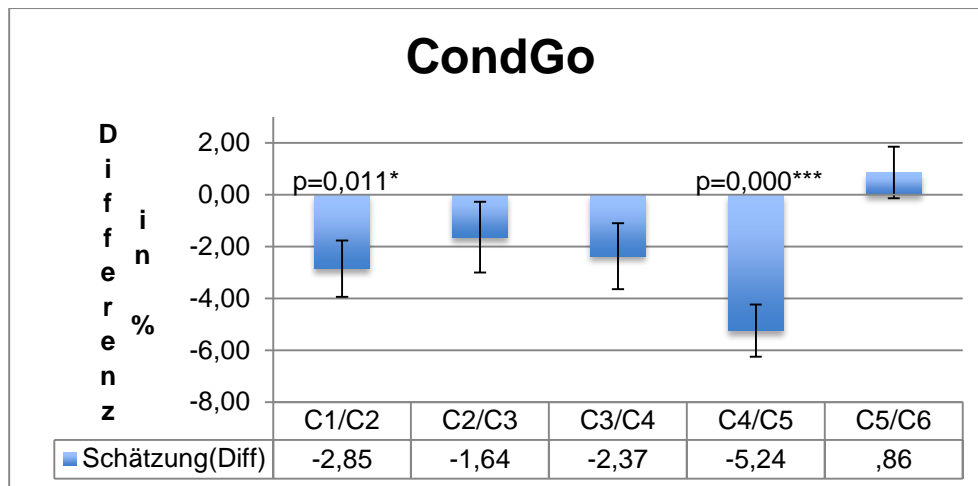


Abb. 39: Veränderung der Strecke Condylon – Gonion als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Knaben

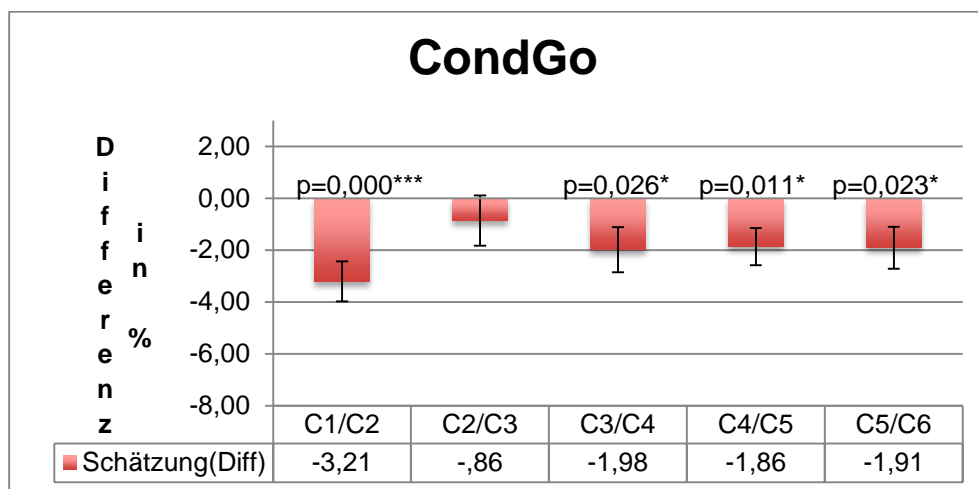


Abb. 40: Veränderung der Strecke Condylon – Gonion als Maß für die Vertikalentwicklung der posterioren Gesichtshöhe bei Mädchen

8.1.6 Sagittalentwicklung des Oberkiefers

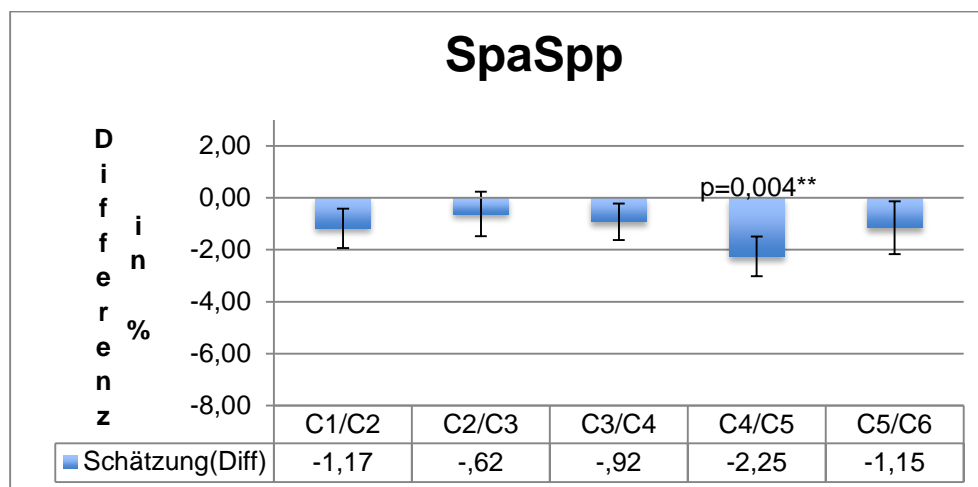


Abb. 41: Veränderung der Strecke Spina nasalis anterior – Spina nasalis posterior als Maß für die Sagittalentwicklung der Maxilla bei Knaben

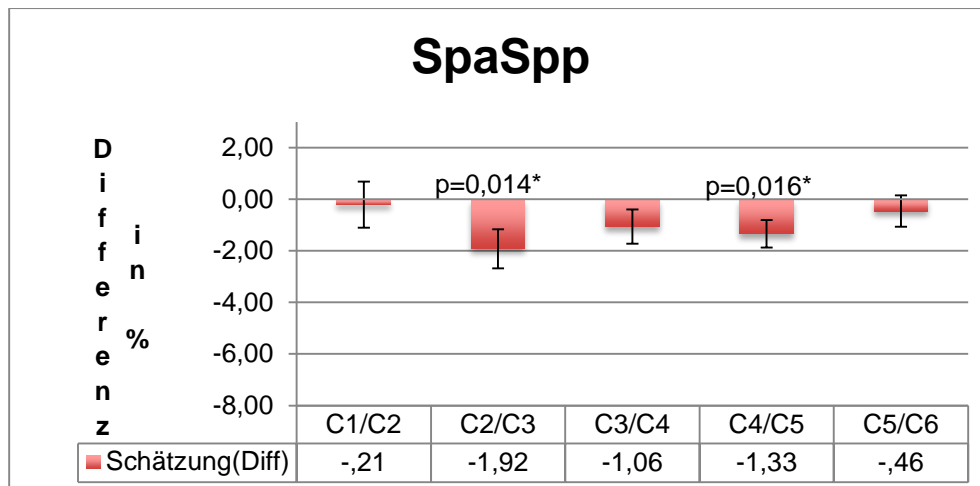


Abb. 42: Veränderung der Strecke Spina nasalis anterior – Spina nasalis posterior als Maß für die Sagittalentwicklung der Maxilla bei Mädchen

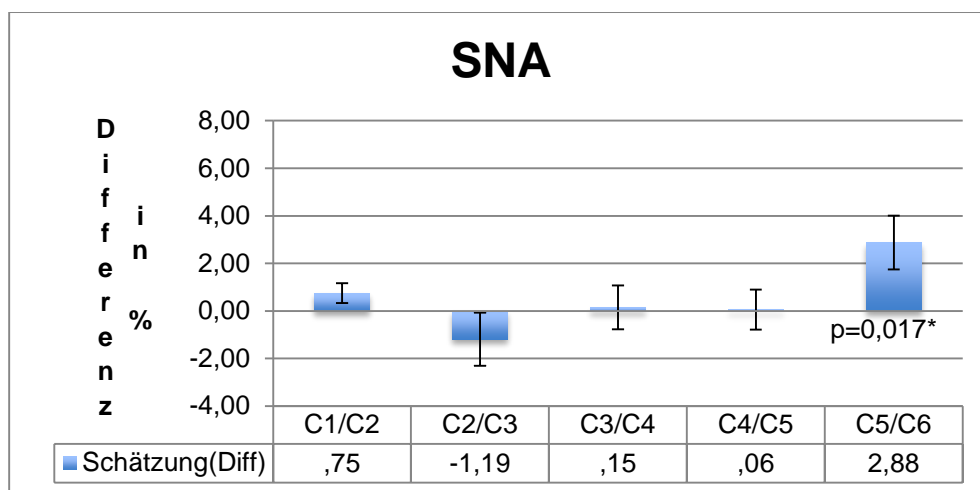


Abb. 43: Veränderung des Winkels SNA als Maß für die Sagittalentwicklung der Maxilla bei Knaben

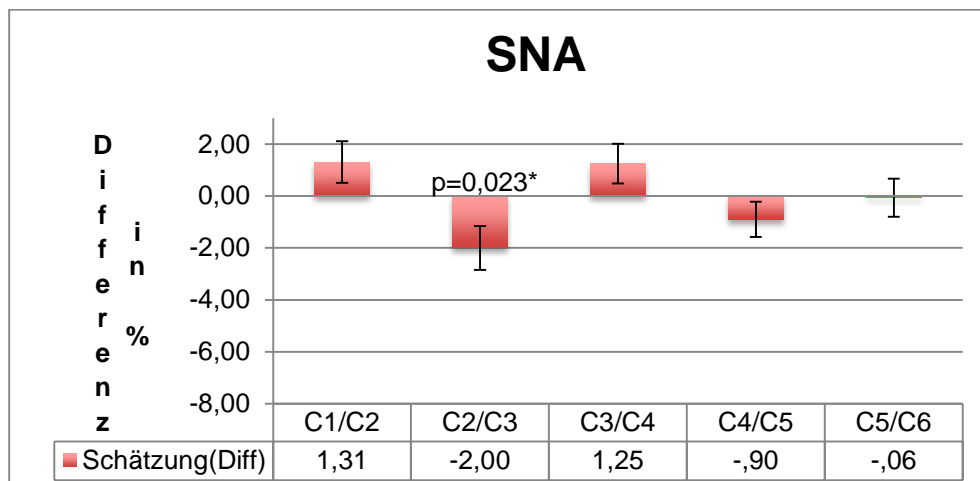


Abb. 44: Veränderung des Winkels SNA als Maß für die Sagittalentwicklung der Maxilla bei Mädchen

8.1.7 Vertikalentwicklung Unterkiefer

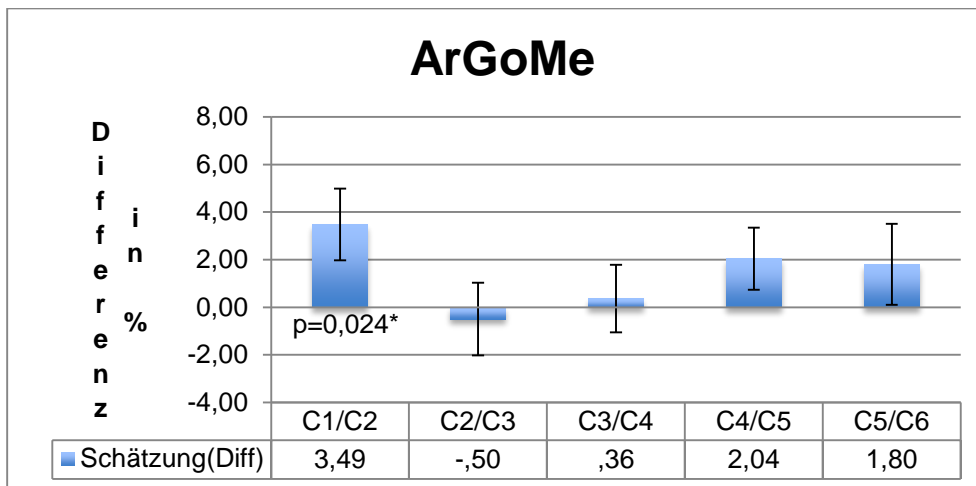


Abb. 45: Veränderung des Winkels Artikulare Gonion Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der Mandibula bei Knaben

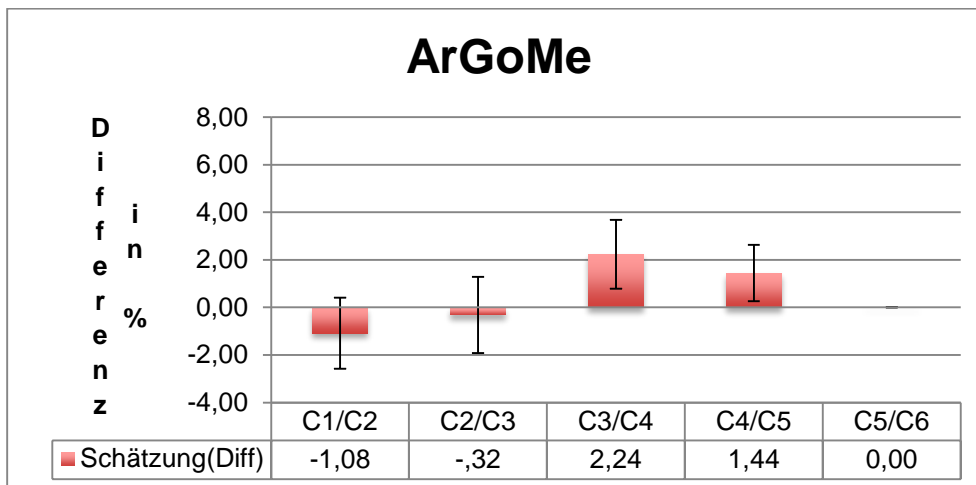


Abb. 46: Veränderung des Winkels Artikulare Gonion Menton als Maß für die Vertikalentwicklung der Mandibula bei Mädchen

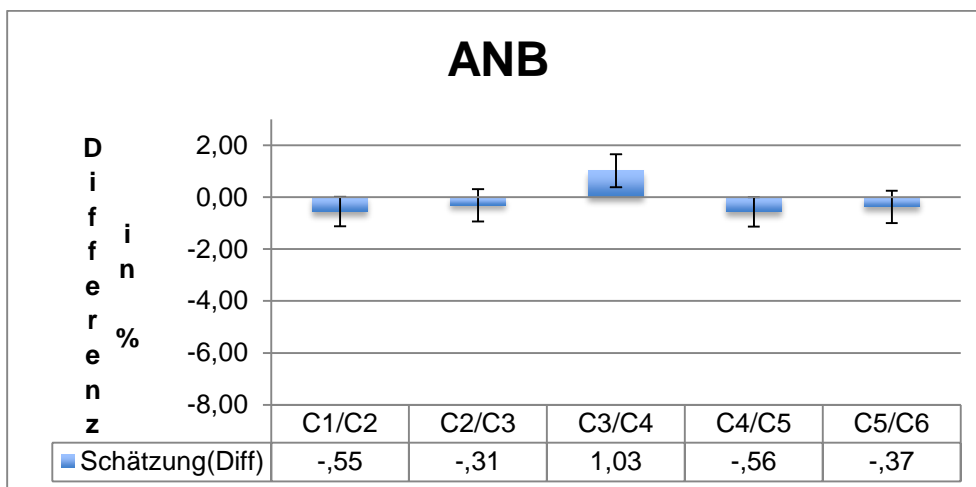


Abb. 47 Veränderung des Winkels ANB als Maß für die Lage der Kiefer zueinander bei Knaben

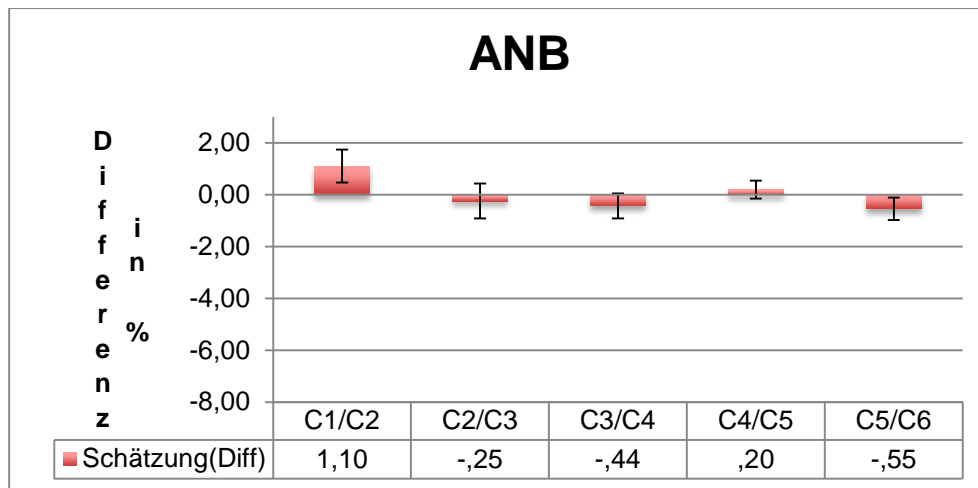


Abb.48 Veränderung des Winkels ANB als Maß für die Lage der Kiefer zueinander bei Mädchen